



João Tomás Mendes Vítor Villa de Brito

Licenciatura em Ciências de Engenharia Mecânica

Sistemas de Centragem de Correias Planas em Actividades de Transporte

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Orientador: Professor Doutor António Gabriel Marques
Duarte dos Santos

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António José Freire Mourão

Vogais: Prof. Doutor Alberto José Antunes Marques Martinho

Prof. Doutor António Gabriel Marques Duarte dos Santos



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro 2014

© Copyright, 2014, João Tomás Mendes Vítor Villa de Brito, FCT/UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Ao Professor António Gabriel Duarte dos Santos, pela orientação do presente trabalho, pelas importantes sugestões e pela revisão do texto, que sem ela este trabalho não podia ser realizado com sucesso. Agradeço também a sua ajuda e disponibilidade e sobretudo paciência demonstrada ao longo destes meses.

Ao Professor António Coelho, pelas sugestões apresentadas no enquadramento do projecto na teoria axiomática.

À minha namorada, que me deu um apoio incondicional ao longo destes anos.

Aos meus colegas e amigos com quem convivi e trabalhei ao longo destes anos.

E, por fim, um agradecimento muito especial à minha família, em particular aos meus pais por me terem permitido frequentar e concluir o curso de Engenharia Mecânica.

Resumo

Uma grande parte das transmissões mecânicas funciona com base no atrito. Uma transmissão por correia plana normalmente é constituída por duas polias, uma motora e uma movida cujos eixos estão paralelos entre si. A transmissão mecânica entre ambas as polias faz-se por meio de uma correia que abraça parcialmente cada uma das polias exercendo uma pressão de contacto, a qual, por atrito, origina uma força tangencial que permite o movimento rotacional de ambas.

Desde há muito tempo, uma vasta gama de correias planas são usadas na indústria, para transporte e para transmissão de potência. Quando as correias planas são utilizadas em sistemas de transporte, a centragem das correias ao longo dos transportadores tem de ser assegurada. Devido a esse facto, os sistemas de centragem das correias têm vindo a ser desenvolvidos, desempenhando um papel fundamental no funcionamento das instalações, reduzindo a necessidade de intervenções para manutenção do sistema de transporte, o desgaste da correia e os danos nos equipamentos.

Neste trabalho são apresentados e descritos, os princípios que regem o funcionamento e centragem das correias planas nos sistemas de transporte e os sistemas de centragem que são frequentemente usados nos sistemas de transporte de material.

Devido aos variadíssimos factores que podem originar o descentramento das correias, são analisadas as causas que levam ao descentramento das correias e indicadas as possíveis soluções para evitar o descentramento das mesmas.

A configuração dos transportadores de correia plana variam de aplicação para aplicação, podendo assumir inúmeras configurações geométricas consoante as necessidades de cada aplicação. Por fim, a presente dissertação apresenta os diferentes tipos de transportadores de correia plana, e a aplicabilidade de cada sistema de centragem para cada tipo de transportador.

Palavras-Chave

- Correia plana
- Sistema de transporte
- Sistemas de Centragem
- Transportador de correia plana
- Centragem de correias planas
- Transmissão por correia

Abstract

The majority of the mechanical power transmission works on friction. A flat belt transmission usually has two flat belt pulleys, a drive pulley and a driven pulley, whose axes are parallel to each other. The mechanical transmission between the two pulleys is made by means of a belt, which partially wraps each pulley exerting a contact pressure which, by friction, generates a tangential force that allows rotational motion of both pulleys.

Since long, a wide range of flat belts are often used in industry, as machine components or for conveying purposes. When using flat belts in conveyor systems, belt tracking along the installation must be ensured. Due to this fact, the tracking systems have been developed to play a key role in conveying systems reducing installation maintenance, belt wear and equipment damage.

This work presents the principles that are responsible for the flat belt operation and tracking in conveying systems and describes the tracking systems often used in conveying systems.

Due to the numerous factors that lead to the mistracking of the belt, this work analyses the causes that lead to belt mistracking and indicates possible solutions to prevent the mistracking.

The flat belt conveyors configuration varies from application to application, and may take several geometric shapes depending on customer needs. Finally, this paper presents the different types of flat belt conveyors, and the applicability of each tracking system for each type of conveyor.

Key-words

- Flat Belt
- Tracking systems
- Flat Belt Conveyors
- Conveying Systems
- Belt tracking
- Transmission Belt

Índice

Agradecimentos	V
Resumo	VII
Palavras-Chave	VII
Abstract	VIII
Key-words	VIII
Índice de figuras	XI
Índice de tabelas	XIII
Simbologia	XV
Abreviaturas.....	XVII
1. Introdução	1
1.1. Objectivos do trabalho	3
1.2. Estrutura da dissertação.....	3
2. Estado da arte.....	5
2.1. Introdução	5
2.2. Transmissão por correia plana	5
2.2.1. Princípio de funcionamento.....	6
2.3. Centragem da correia plana em sistemas de transporte.....	12
2.3.1. Sistemas de centragem	14
2.4. Teoria axiomática	17
2.4.1. Hierarquia do projecto e decomposição Zig-Zag.....	18
2.4.2. Princípios de projecto	19
3. As correias planas em actividades de transporte	21
3.1. Correia transportadora	21
3.2. Polias.....	23
3.2.1. Polias motora e de retorno	27
3.2.2. Polia de abraçamento	28
3.2.3. Esticadores de correia	29
3.3. Condutores em V	32
3.4. Rolos e roletes	33
3.4.1. Rolo/Rolete de carga	35

3.4.2. Rolo/Rolete amortecedor de impacto	35
3.4.3. Rolete de transição	35
3.4.4. Rolo/Rolete de retorno.....	36
3.4.5. Rolo/Rolete para centragem da correia	37
3.4.5.1. Cálculo da força de centragem dos rolos de centragem	40
3.4.6. Rolos-guia laterais.....	44
3.5. Base de suporte.....	44
4. Causas que levam aos descentramento da correia plana e respectivas medidas a serem tomadas	47
5. Transportadores de correia plana com diferentes geometrias e os seus sistemas de centragem	53
5.1. Transportadores curvos.....	53
5.2. Transportadores inclinados e declinados	55
5.3. Transportadores de curta distância	58
5.4. Transportadores de transferência	59
5.5. Transportadores telescópicos.....	61
6. Enquadramento na teoria axiomática	63
7. Conclusões e trabalho futuro	67
8. Referências bibliográficas	69

Índice de figuras

Figura 1.1. Sistema de transmissão por correia plana [20].....	1
Figura 1.2. Descentramento da correia.....	2
Figura 2.1. Forças de tracção na transmissão por correia plana [42]	6
Figura 2.2. Sistema de transmissão por correia aberta [1]	8
Figura 2.3. Sistema de transmissão por correia cruzada [1].....	9
Figura 2.4. Forças existentes na transmissão por correia plana [3]	10
Figura 2.5. Relação entre as forças de tracção na correia e o ângulo de abraçamento [3]	11
Figura 2.6. Abraçamento da correia numa polia cónica [11].....	13
Figura 2.7. Centragem da correia por desvio angular da polia no plano paralelo ao plano da correia [11].....	13
Figura 2.8. Centragem da correia por desvio angular da polia no plano perpendicular ao plano da correia [11]	14
Figura 2.9. Perfil guia introduzido na polia [19].....	16
Figura 2.10. Rolos guia laterais [40]	16
Figura 2.11. Guia lateral [21]	16
Figura 2.12. Sistema de centragem automático [19].....	17
Figura 2.13. Domínios da teoria axiomática e as suas interligações [14]	18
Figura 2.14. Trajecto Zig-Zag e as hierarquias de projecto [14].....	19
Figura 2.15. Diferentes categorias de matrizes de projecto [14]	20
Figura 3.1. Transportador de correia plana e principais componentes	21
Figura 3.2. Constituição de uma correia plana transportadora.....	22
Figura 3.3. Polia cilíndrica [19]	24
Figura 3.4. Polia abaulada [21].....	25
Figura 3.5. Polia cilíndrica com extremidades cónicas [19].....	26
Figura 3.6. Evolução das forças de tracção da correia no accionamento frontal [22]	27
Figura 3.7. Evolução das forças de tracção da correia no accionamento traseiro [22]	27
Figura 3.8. Transportador reversível [19].....	28
Figura 3.9. Polia de abraçamento [21]	29
Figura 3.10. Esticador de correia por parafuso [38]	30
Figura 3.11. Esticador de correia basculante [39]	31
Figura 3.12. Esticador de correia linear por gravidade através de um contra-peso [39]	31
Figura 3.13. Condutor em V tradicional [41].....	32
Figura 3.14. Condutor em V invertido [33]	33
Figura 3.15. Inclinação dos condutores em V [19]	33
Figura 3.16. Diferentes tipo de suporte e condução da correia. a) Roletes de perfil concavo [45]	
b) Rolos de perfil plano [37]	35
Figura 3.17. Distância adequada entre a polia e o último rolete de transição [19].....	36

Figura 3.18. Rolo de retorno da correia plana [45]	37
Figura 3.19. Mecanismo de desvio angular de um rolo de suporte [19]	37
Figura 3.20. Inclinação dos rolos em direcção ao movimento da correia [22]	38
Figura 3.21. Roleta de auto centragem da correia montando com rolos-guia [40][33]	38
Figura 3.22. Actuação do rolete de auto-centragem quando o descentramento da correia [21]	39
Figura 3.23. Rolo de auto-centragem da correia [33]	39
Figura 3.24. Dispositivo de centragem operado com uma mola de torção [40]	40
Figura 3.25. Dispositivo alinhado perpendicularmente com o eixo longitudinal da correia	41
Figura 3.26. Deslocamento angular do dispositivo de centragem	42
Figura 3.27. Deformação da correia quando lhe é imposta uma força transversal responsável pela centragem	43
Figura 3.28. Força que o rolo exerce para suportar a correia e respectivo carregamento	43
Figura 3.29. Guias em “V” inseridas na cama de suporte [19]	45
Figura 5.1. Condução da correia plana por correntes-guia [19]	54
Figura 5.2. Rolos inclinados permitem o bloqueamento do perfil [34]	54
Figura 5.3. Utilização de uma polia cónica no transportador curvo [36]	55
Figura 5.4. Transportador inclinado [18]	56
Figura 5.5. Transportador em “Z” [35]	56
Figura 5.6. Alternativa ao transportador em “Z” [18]	57
Figura 5.7. Condutor em V [19]	58
Figura 5.8. Correias paralelas conduzidas por duas polias [19]	59
Figura 5.9. <i>Nosebar</i> [19]	60
Figura 5.10. Transportador de transferência e seus componentes [19]	60
Figura 5.11. Transportador telecópico com dois segmentos extensíveis [44]	61
Figura 6.1. Tapete transportador de correia plana	63
Figura 6.2. Ângulo de abraçamento e forças de tracção	64
Figura 6.3. Coeficiente de atrito existente entre a correia e a polia	64
Figura 6.4. Paralelismo dos eixos	65
Figura 6.5. Geometria da polia (Abaulamento) e ângulo de encurvamento da correia	65

Índice de tabelas

Tabela 3.1. Valores máximos recomendados de velocidade para correias transportadoras [17]	23
Tabela 3.2. Largura da polia cilíndrica recomendada para certos valores de largura da correia [19]	24
Tabela 3.3. Largura da polia abaulada recomendada para certos valores de largura da correia [19]	26
Tabela 3.4. Altura da coroa recomendada para certos diâmetros de polia de aço [19]	26
Tabela 3.5. Nomenclatura dos rolos [17]	34
Tabela 3.6. Valor do <i>factor c</i> consoante o ângulo de inclinação dos rolos [22]	36
Tabela 3.7. Cálculo da força de centragem do rolo de centragem	44
Tabela 4.1. Problemas e causas no descentramento da correia plana	47

Simbologia

T_1, F_1	Força de tracção da correia no ramo esticado
T_2, F_2	Força de tracção da correia no ramo folgado
θ	Ângulo de abraçamento
θ_D	Ângulo de abraçamento da polia maior
θ_d	Ângulo de abraçamento da polia menor
D	Diâmetro da polia maior
d	Diâmetro da polia menor
C	Distância entre os eixos da polia
α	Ângulo de deslocamento da polia ou do rolo
w_D	Velocidade angular da polia maior
w_d	Velocidade angular da polia menor
F_{ci}	Força de tracção circunferencial causada pela força centrífuga
F_c	Força centrífuga da correia na polia motora
T_c	Tensão centrífuga da correia na polia motora
dN	Força normal entre a correia e a polia
μ	Coeficiente de atrito
$\mu \cdot dN$	Força de atrito, decorrente do escorregamento
F_n	Forças normais no ponto de contacto entre a polia e a correia
F_t	Forças tangenciais no ponto de contacto entre a polia e a correia
T_f	Binário de atrito transmitido pela correia plana na polia menor
R	Raio da polia
M	Massa da correia no segmento delimitado por $d\theta$
m	Massa da correia por unidade de comprimento
v	Velocidade da correia
g	Aceleração gravítica
w	Peso da correia por unidade de comprimento
b	Largura da polia

b_0	Largura da correia
h	Altura da coroa
d'	Diâmetro maior da polia abaulada
G	Valor do contrapeso ou da força necessária ao esticador por parafuso
T_c	Valor da tensão no ponto onde está localizado o esticador
P_c	Peso da polia esticadora e do seu quadro guia
λ	Inclinação do transportador
β	Ângulo de concavidade dos roletes de transição
l'	Distância de transição
F_a	Força de atrito entre a correia e o dispositivo de centragem
F_{cx}	Força longitudinal que o rolo de centragem exerce sobre a correia
F_{cy}	Força transversal que o rolo de centragem exerce sobre a correia
F_{prp}	Força perpendicular que o rolo de centragem exerce sobre a correia
$P_{s/dis}$	Carga exercida sobre o rolo
N	Força normal que o rolo exerce para suportar a correia
v_d	Velocidade da correia após o contacto com o rolo
P	Passo entre os rolos de suporte
F_E	Força de esticamento da correia
Q	Carga distribuída sobre o rolo correspondente ao peso da correia e ao peso da carga a transportar

Abreviaturas

RF Requisitos funcionais

PP Parâmetros de projecto

A Matriz de projecto

CEMA *Conveyor Equipment Manufacturers Association*

1. Introdução

A transmissão de potência mecânica pode ser realizada através de vários mecanismos, tais como, correias, correntes, engrenagens e embraiagens.

Nas transmissões por correia, esta abraça duas ou mais polias (Fig.1.1), exercendo força sobre elas, transmitindo uma força tangencial por meio de atrito entre a polia e a correia. Para se conseguir o atrito entre a polia e a correia deve-se montar o conjunto com uma força de montagem inicial que pressionará a correia sobre a polia de forma uniforme. Quando a transmissão está em funcionamento, os lados da correia não estão submetidos à mesma força de tração, e esta situação ocorre devido ao tracionamento apenas de um lado da correia por parte da polia motora.

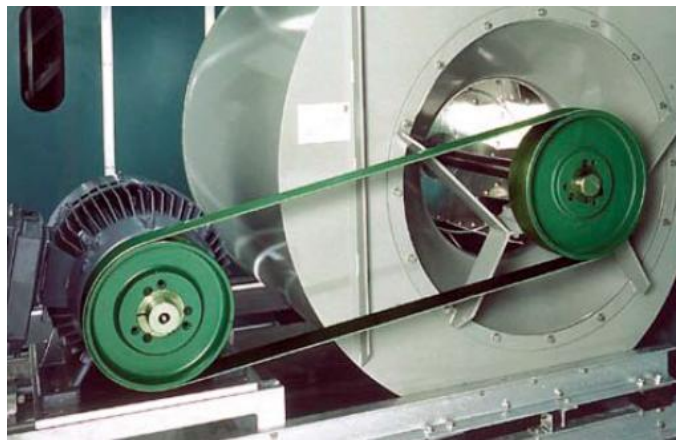


Figura 1.1. Sistema de transmissão por correia plana [20]

A transmissão por correia plana é adequada para utilizações em que a distância entre eixos é grande. É usualmente mais simples e mais económica que as outras formas alternativas de transmissão de potência, substituindo engrenagens ou dispositivos similares de transmissão de potência. As correias são usualmente silenciosas, de fácil reposição e podem transmitir potência em longas distâncias entre eixos e, em muitos casos, em função da sua flexibilidade e capacidade de amortecimento, reduzem a transmissão de choques mecânicos e vibrações. Embora este tipo de transmissão ofereça muitas vantagens mecânicas, existem, por outro lado, muitos problemas de funcionamento associados à elasticidade da correia, relaxamento da tensão, excentricidade e também à eventualidade de se afastarem do centro das polias, ou seja ao seu descentramento.

As correias planas, quando suportadas e guiadas por polias cilíndricas não estão sujeitas a nenhuma força de centragem, o que leva a que a correia seja conduzida numa condição instável [11]. A existência de falhas como o posicionamento dos eixos ou na geometria das polias levam ao descentramento da correia, trazendo consequências que não são favoráveis ao bom funcionamento da operação, tais como, danos na correia, danos nos materiais que são transportados ou mesmo na própria estrutura de suporte. Deste modo, é

importante que o movimento lateral da correia seja evitado. Os sistemas de centragem das correias têm vindo a ser desenvolvidos para assegurar a correcta condução da correia.

Na transmissão por correia plana, as polias desempenham um papel importante na centragem das correias, dado que são elas as responsáveis pela condução da correia, e por isso mesmo, alguns dos sistemas consistem em deslocar angularmente as polias ou proporcionar-lhes uma geometria que seja capaz de manter a correia centrada.

Neste trabalho, é estudado o funcionamento das correias planas nos sistemas de transporte onde, para além das polias, também os rolos/roletes que conduzem a correia possuem um papel importante na centragem da correia, evitando que pequenas ineficiências no carregamento de material, no alinhamento das polias ou rolos, e ainda condições ambientais, afectem o movimento lateral da correia plana, conduzindo ao seu descentramento.

O descentramento da correia (Fig.1.2) é um movimento lateral do seu eixo longitudinal, em que ela se desloca para fora da instalação levando, quando extremo, à danificação da estrutura do transportador e seus componentes.

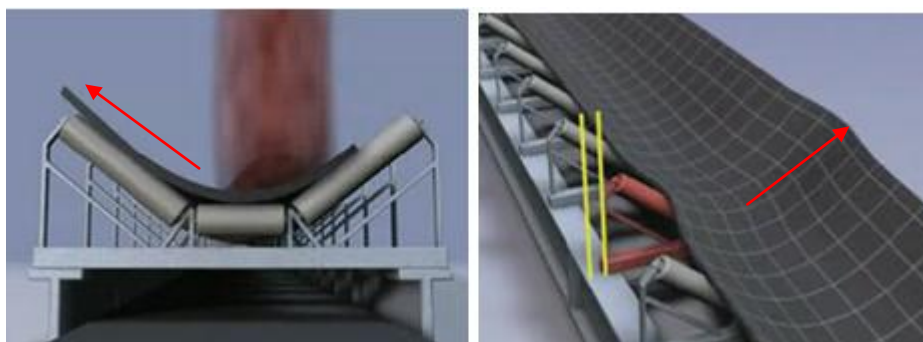


Figura 1.2. Descentramento da correia

As correias planas são usadas nos transportadores com a finalidade de transportar objectos industriais de um ponto ao outro. São normalmente usadas no transporte de mercadorias de unidade, de embalagens, material a granel e, em geral, no transporte de materiais para distribuição e armazenamento.

Os transportadores de correia plana apresentam uma grande variedade na sua construção, sendo importante a aplicabilidade de cada sistema de centragem a cada transportador. Os transportadores são construídos consoante as necessidades de transporte de uma instalação, tais como :

- Geometria do transportador - rectilíneos, de comprimento constante ou variável, em Curva Plana, em "ângulo" para convergências, em curva Helicoidal, entre outros;
- Estrutura de Suporte - correia a deslizar sobre rolos, roletes ou base de apoio lisa;
- Tipo de produtos a transportar - produtos a granel, produtos unitários, de geometria fixa, regular, variável, frágeis, abrasivos ou corrosivos;
- Funcionalidades que irão desempenhar - modo de recepção de carga, entradas laterais, modo de descarga;
- Posição de funcionamento - fixos, móveis, horizontais, inclinados ou declinados;

- Meio envolvente em que irão funcionar - na rua, dentro de edifícios, variações de temperatura, humidade, gelo, poeira, sol, acumulação de resíduos.

1.1.Objectivos do trabalho

Este trabalho tem como objectivo o estudo das condições necessárias para manter as correias planas centradas nas polias que a suportam para que o funcionamento seja possível. Para tal, é necessário identificar os princípios que regem o posicionamento das correias planas. Para que a instalação esteja no seu pleno funcionamento, os princípios de posicionamento das correias planas necessitam de ser cumpridos, caso contrário, a correia vai descentrar-se da sua posição ideal de funcionamento.

Com a necessidade de satisfazer os princípios de posicionamento das correias em instalações de transporte, o outro objectivo deste trabalho centra-se no estudo dos diferentes tipos de sistemas de centragem existentes, os quais auxiliam a condução da correia satisfazendo os princípios necessários ao bom funcionamento da instalação.

Pela grande variedade existente de causas que originam o descentramento da correia, o principal objectivo deste trabalho é contribuir para a melhoria da manutenção e para a prevenção do risco de descentramento da correia plana nos transportadores com a listagem das causas que conduzem ao descentramento da correia e as principais soluções adequadas para remediação de cada causa.

O outro objectivo deste trabalho, foca-se na análise de alguns tipos de transportadores planos de correia plana com diferentes configurações e na avaliação da adequabilidade de cada tipo de sistema de centragem a ser usado em cada transportador.

1.2.Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos: Introdução, Estado da Arte, correias planas em actividades de transporte, causas do descentramento das correias, transportadores de correia plana e respectivos sistemas de centragem, enquadramento na teoria axiomática e respectivas conclusões.

Na Introdução, Capítulo 1, apresenta-se as considerações gerais, os objectivos que estiveram na base do trabalho desenvolvido, bem como a organização do trabalho.

No Estado da Arte, Capítulo 2, é apresentado o estudo bibliográfico e a explicação da ocorrência de vários fenómenos que contém a base científica. Este estudo bibliográfico divide-se em 3 subcapítulos. No subcapítulo 2.1, é estudado a transmissão por correia plana, apresentando as suas vantagens e desvantagens na sua utilização e o seu princípio de funcionamento. No subcapítulo 2.2, apresenta-se o estudo bibliográfico da centragem de correias planas e os seus respectivos princípios. São igualmente apresentados, de uma forma sucinta, alguns dos sistemas de centragem usados nas correias planas transportadoras. No subcapítulo 2.3, é estudada a teoria axiomática e os respectivos domínios de projecto, onde são apresentados também os dois axiomas de projecto da teoria axiomática.

No Capítulo 3, as correias planas em actividades de transporte, são apresentados os principais componentes que são responsáveis pela condução da correia plana nos transportadores e onde são usados os vários sistemas de centragem de correia.

No Capítulo 4, são apresentadas as causas que conduzem ao descentramento da correia plana e as suas respectivas soluções.

No Capítulo 5, transportadores de correia plana com diferentes geometrias e seus sistemas de centragem, tal como o título indica, são apresentados alguns dos transportadores de correia plana mais utilizados na indústria de transporte e os sistemas de centragem utilizados em cada transportador.

No Capítulo 6, Enquadramento da teoria axiomática, é estudada a centragem das correias planas no projecto axiomático, listando os requisitos funcionais e os respectivos parâmetros de projecto. É analisado o projecto pelo axioma de independência para verificar se este é ideal.

Por fim, no Capítulo 7, são apresentadas as Conclusões que decorrem de uma análise global do trabalho realizado, as contribuições para a indústria de transporte de material e ainda as sugestões para desenvolvimentos futuros.

2. Estado da arte

2.1.Introdução

Neste capítulo apresentam-se os aspectos relevantes da pesquisa bibliográfica realizada para a presente dissertação. O intuito é enquadrar os desenvolvimentos realizados nos capítulos seguintes, na área dos sistemas de centragem das correias planas em sistemas de transporte. Aborda-se neste capítulo o estado da arte das principais matérias envolvidas na dissertação, tais como os princípios que regem o posicionamento das correias planas, os sistemas de centragem e a teoria axiomática.

2.2.Transmissão por correia plana

As correias, juntamente com as polias, são um dos meios mais antigos de transmissão de movimento. Uma correia é um elemento flexível utilizado para transmissão de potência entre dois eixos distantes.

O funcionamento das transmissões por correia plana, tal como a maioria das transmissões por correia, opera principalmente por atrito, sendo esta uma das suas principais vantagens. Existem inúmeras vantagens no uso das transmissões por correia em comparação com outros mecanismos de transmissão de potência [1], tais como :

- Razões económicas: Este tipo de mecanismo não exige lubrificação, sendo que nas transmissões por correntes e engrenagens, a lubrificação é obrigatória. A substituição das correias gastas faz-se de uma maneira fácil e económica, levando a que o seu tempo para manutenção seja mais reduzido;
- Razões de segurança: A transmissão por correias oferece protecção contra choques e vibrações em função da sua flexibilidade e capacidade de amortecimento. No caso do choque e/ou sobrecarga exceder a força de atrito, ocorre o escorregamento funcional que é capaz de proteger o sistema motor, o qual não ocorre nas transmissões por correntes e engrenagens;
- Razões de versatilidade: Devido à sua versatilidade, as transmissões por correias podem ser projectadas com grande redução ou grande multiplicação de rotações e, numa mesma instalação, com uma única correia, pode-se obter diferentes relações de velocidades. A transmissão de potência pode ser conseguida com rotações no mesmo sentido (correia aberta) ou em sentidos opostos (correia fechada). Em ambos os sistemas a correia abraça-se em torno das polias.

Embora este tipo de transmissão ofereça muitas vantagens mecânicas, existem por outro lado, algumas desvantagens, tais como o alongamento permanente da correia, a variação do coeficiente de atrito devido a certos factores, como por exemplo, a humidade e a poeira, e o escorregamento na transmissão da força. Outra grande desvantagem na transmissão por correia plana é o aparecimento de grandes forças radiais nos apoios das polias com a consequente necessidade de utilização de apoios robustos.

2.2.1. Princípio de funcionamento

A transmissão de potência no conjunto só se verifica quando existe presença de atrito devido à pressão de contato entre a polia e a correia, dado que a transmissão de movimento e de força é efectuada por atrito, sendo de grande importância a maximização de atrito entre a polia e a correia, e isto só é possível quando existe uma força de tracção inicial uniforme entre o conjunto que permite a pressão da correia sobre a polia. O coeficiente de atrito depende do tipo de material da correia e da polia e, também, da condição e rugosidade das superfícies, na medida que a humidade tende a reduzir o coeficiente de atrito.

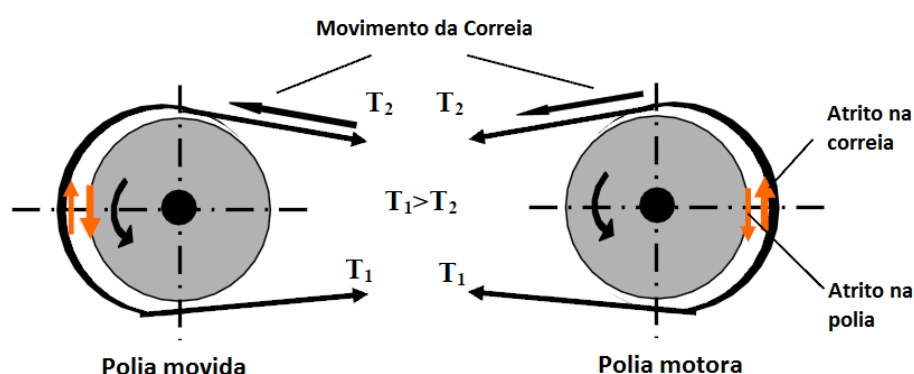


Figura 2.1. Forças de tracção na transmissão por correia plana [42]

A presença de atrito entre a polia e a correia causa diferenças de tensão na correia (Fig. 2.1). Quando uma transmissão está em funcionamento, a tracção do lado que está a ser traccionado (T_1), lado esticado, pela polia motora, aumenta enquanto a tracção do lado do lado contrário (T_2), lado folgado, diminui. Isto é explicado devido ao esforço de imprimir rotação na polia motora, em que a correia entra em contacto com a polia motora com uma força de tracção (T_1) maior que a força de tracção de saída (T_2).

Assim, à medida que a correia passa em torno da polia, a força de tracção T_1 diminui gradualmente de acordo com as forças de atrito, e a correia sofre uma contracção. Em consequência dessa contracção, a correia sai da polia com um comprimento menor do que aquela que entrou, devido à perda do seu alongamento ao mover-se em torno da polia [3]. Na polia movida o fenómeno é inverso, a polia encontra-se inicialmente numa situação sem rotação e à medida que lhe é transmitida rotação, a polia vai-se opor ao movimento da correia.

Esta mudança na força de tracção da correia, devido a forças de atrito entre a mesma e a polia que causam alongamento ou encurtamento da correia, cria um fenómeno de deformação elástica denominado escorregamento funcional.

Esta diferença de forças traduz-se em momentos aplicados às polias proporcionais aos correspondentes diâmetros. Na transmissão por correias verifica-se sempre que as velocidades tangenciais nas polias são iguais ou apresentam pequenas diferenças [2].

A acção da correia na polia motora, devido às diferentes de forças de tracção ao longo do arco de abraçamento, é tal que a correia move-se mais lentamente que a velocidade da superfície da polia devido à deformação elástica [1].

Outro fenómeno que ocorre nas transmissões por correia plana é o escorregamento. Este é consequência de uma força de montagem inicial insuficiente, o que causa uma pressão de contacto insuficiente da correia sobre a polia, não desenvolvendo o atrito necessário entre elas.

É importante adequar as forças de tracção ao tipo de aplicação para prevenir consequências que se podem tornar drásticas para o sistema. Grandes forças de tracção existentes na correia levam a um comportamento instável da mesma e provocam o desgaste prematuro dos componentes do sistema, tais como os rolos de condução da correia.

A força de tracção está directamente relacionada com o comportamento de centragem da correia e, como tal, não deve existir folga entre a polia e a correia. Dada a importância da manutenção da força de tracção na correia, esta é por vezes ajustada durante a vida da correia. Podem utilizar-se soluções construtivas que asseguram a força de tracção adequada [2].

O escorregamento que ocorre quando se excede a força de atrito entre a correia e a polia e o escorregamento funcional devido à elasticidade das correias são fenómenos que se processam devido à potência que tendem a diminuir o rendimento da transmissão. Caso o escorregamento não seja evitado com a aplicação da força de montagem inicial, quando excessivo, para além de afectar o rendimento da transmissão tende a gerar calor capaz de danificar a superfície da correia. Por outro lado, o escorregamento funcional é um fenómeno inevitável, consequência da elasticidade dos materiais, mas não afecta sensivelmente a qualidade de transmissão.

O escorregamento ocorre uniformemente ao longo de toda a superfície de contacto entre a polia e a correia, enquanto o escorregamento funcional ocorre diferencialmente ao longo da superfície de contacto devido às diferenças existentes na deformação elástica da correia [4].

O ângulo de abraçamento é importante nas transmissões por correia plana. O ângulo de abraçamento é responsável pela superfície de abraçamento entre a polia e a correia e condiciona a transmissão de potência, dado que condiciona também a relação entre as forças de tracção de cada lado da correia. Quando o ângulo de abraçamento é pequeno significa que a força de tracção será menor e a sua capacidade de transmissão também será reduzida.

Numa transmissão feita na horizontal, o ângulo de abraçamento aumenta ligeiramente se o lado superior, que se encontra folgado, estiver encurvado e o lado inferior, que se encontra apertado, perfeitamente alinhado. Por outro lado, se o lado folgado estiver na parte inferior e o apertado na parte superior, pelas mesmas razões descritas anteriormente, o ângulo de abraçamento e a capacidade de transmissão diminuem. Conclui-se então que, para aumentar o ângulo de abraçamento num sistema de transmissão feito na horizontal, as forças

de tracção maior e menor devem situar-se, respectivamente, no lado inferior e superior da correia.

Apesar do lado superior da correia ser o lado preferível para o lado folgado, para outro tipo de correias, tanto o superior como inferior podem ser usados porque as forças de tracção instaladas são usualmente grandes [1].

A área de abraçamento da correia com a polia é determinada pela largura e ângulo de abraçamento. Se as polias possuírem o mesmo diâmetro, a correia vai-se abraçar em cada uma perfazendo um ângulo de 180 °.

A fim de prevenir o escorregamento entre a correia e a polia, caso as polias não possuam o mesmo diâmetro, o ângulo de abraçamento recomendado na polia de menor diâmetro é, pelo menos, de 150 ° [4].

Como mencionado no ponto 2.2, as transmissões por correia plana são bastante versáteis, possibilitando assim rotações no mesmo sentido (Fig.2.2), ou em sentidos opostos (Fig.2.3).

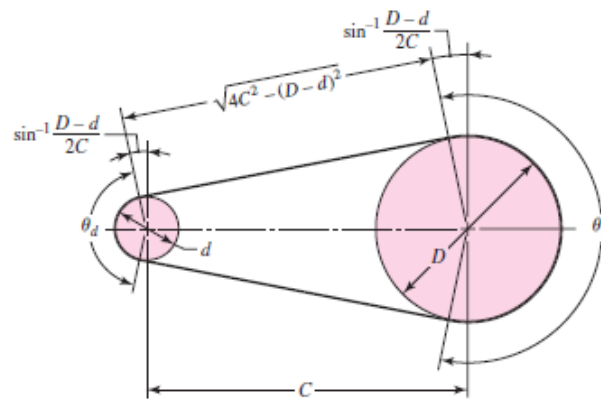


Figura 2.2. Sistema de transmissão por correia aberta [1]

Os ângulos de abraçamento das polias maior e menor no sistema apresentado na figura 2.2, em que ambas as polias apresentam o mesmo sentido de rotação são calculadas, respectivamente, por :

$$\Theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2 \times C}\right) \quad (2.1)$$

$$\Theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2 \times C}\right) \quad (2.2)$$

Nos sistemas em que se pretende que o ângulo de abraçamento seja maior que os 180 graus é, por vezes, utilizado o sistema de correia fechada. Este sistema consiste em cruzar a correia em sentidos opostos e faz com que o sentido de rotação das polias seja oposto.

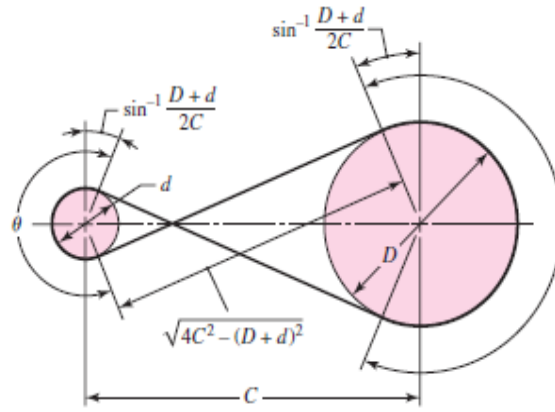


Figura 2.3. Sistema de transmissão por correia cruzada [1]

Neste tipo de transmissão, o ângulo de abraçamento é maior, sendo igual em ambas as polias:

$$\theta = \pi + 2\sin^{-1}\left(\frac{D+d}{2C}\right) \quad (2.3)$$

No sistema de correia aberta, quando a correia se encontra demasiado folgada e se ambas as polias estiverem demasiado próximas uma da outra, o ângulo de abraçamento entre a polia e a correia é nulo ou quase nulo. A fim de evitar que tal aconteça, as polias devem ser afastadas a uma determinada distância. Por vezes este aumento de distância entre as polias, apesar da flexibilidade da correia, é tão grande que não é praticável. A solução passa por diminuir o diâmetro de ambas as polias seguindo o mesmo rácio e aumentar a distância até uma extensão em que seja praticável. A distância entre as polias contribui para o aumento ou diminuição do ângulo de abraçamento.

Por vezes a polia de menor diâmetro é tão pequena que o atrito existente entre ela e a correia não é suficiente para evitar o escorregamento, o que leva à deformação da correia. Quanto menor o diâmetro da polia menor, maior a deformação da correia e conseqüente menor capacidade de transmissão. No entanto, um aumento da polia corresponde a uma maior velocidade da correia e conseqüente aumento das forças centrífugas. O aumento destas forças tendem a diminuir a força de contacto entre a correia e a polia com a conseqüente diminuição do atrito entre eles [2].

Para que seja transmitida potência entre a polia motora e a movida é necessário existir movimento, verificando-se para pequenas velocidades que a potência aumenta quase linearmente com a velocidade [2].

Pela figura 2.2, e admitindo que a polia de menor diâmetro trabalha como polia motora, a relação de velocidades angulares entre as duas polias traduz-se na seguinte equação :

$$\frac{\omega_D}{\omega_d} = \frac{d}{D} \quad (2.4)$$

Como verificado pela equação 2.4, a relação de transmissão é inferior à unidade, $\frac{\omega_D}{\omega_d} < 1$. Quanto maior o raio da polia, menor será a velocidade angular da mesma e vice-versa.

Assim, a polia motora apresenta uma velocidade angular superior à polia de retorno.

Devido à deformação e ao escorregamento existente entre as polias e a correia, a velocidade angular entre os dois eixos rotativos pode ser inexacta e, a capacidade de potência e momento de força, limitados pelo coeficiente de atrito e pelas pressões internas entre a polia e a correia [4].

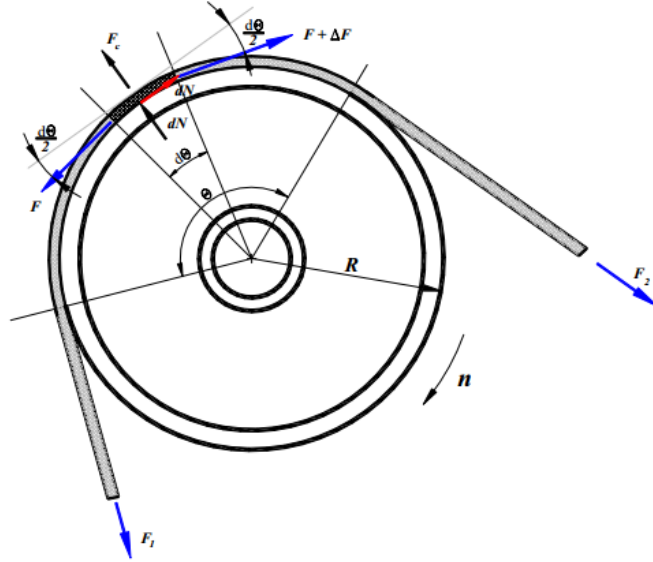


Figura 2.4. Forças existentes na transmissão por correia plana [3]

Adaptando a figura 2.4 ao princípio de condução das correias planas que relaciona a força de tracção e o coeficiente de atrito, e referir que o escorregamento ocorre primeiro na polia de menor diâmetro devido ao seu menor ângulo de abraçamento, a equação do princípio de escorregamento para velocidades pequenas é deduzida abaixo.

As equações de equilíbrio entre as forças de tracção nos dois lados de um elemento da correia são dadas por [3] :

$$\sum F_n = (F + dF) \times \sin \frac{d\theta}{2} + F \times \sin \frac{d\theta}{2} - dN \quad (2.5)$$

$$\sum F_t = (F + dF) \times \cos \frac{d\theta}{2} - F \times \cos \frac{d\theta}{2} - \mu \cdot dN \quad (2.6)$$

Iguala-se ambas as equações a 0 e sabe-se que, $\cos \frac{d\theta}{2} = 1$; $\sin \frac{d\theta}{2} = \frac{d\theta}{2}$. Substituindo em (2.5) e (2.6) :

$$F \times \sin \frac{d\theta}{2} + dF \times \sin \frac{d\theta}{2} + F \times \sin \frac{d\theta}{2} - dN = 0 \Leftrightarrow F \cdot d\theta = dN \quad (2.7)$$

$$F + dF - F - \mu \cdot dN = 0 \Leftrightarrow dF = \mu \cdot dN \quad (2.8)$$

Substituindo (2.7) em (2.8) :

$$dF = \mu \cdot F \cdot d\theta \Leftrightarrow \frac{dF}{F} = \mu d\theta \quad (2.9)$$

Integrando (2.9), obtém-se a equação da relação entre as forças de tracção :

$$\int_{F_2}^{F_1} \frac{dF}{F} = \mu \cdot \int_0^\theta d\theta \Leftrightarrow \ln \frac{F_1}{F_2} = \mu \cdot \theta \Leftrightarrow \frac{F_1}{F_2} = e^{\mu \cdot \theta} \quad (2.10)$$

O momento de força na polia transmitido pela correia plana na polia menor é escrita por :

$$T_f = (F_1 - F_2) \times R \quad (2.11)$$

As equações (2.10) e (2.11) demonstram que quando a correia produz binário sobre a polia, tem que existir força de tracção entre elas. Se isso não acontecer, a correia não é pressionada sobre a polia e consequentemente ocorre o fenómeno do escorregamento. Permite também calcular as forças de tracção da correia partir de qualquer combinação entre o momento de força, ângulo de abraçamento e coeficiente de atrito. A capacidade de condução da correia é determinada pelo ângulo de abraçamento na polia menor, o que leva a que seja critico para sistemas em que as polias que tenham grandes diferenças de tamanho e que estejam pouco afastadas uma da outra [7].

A figura 2.5 mostra a relação entre as forças de tracção e o ângulo de abraçamento.

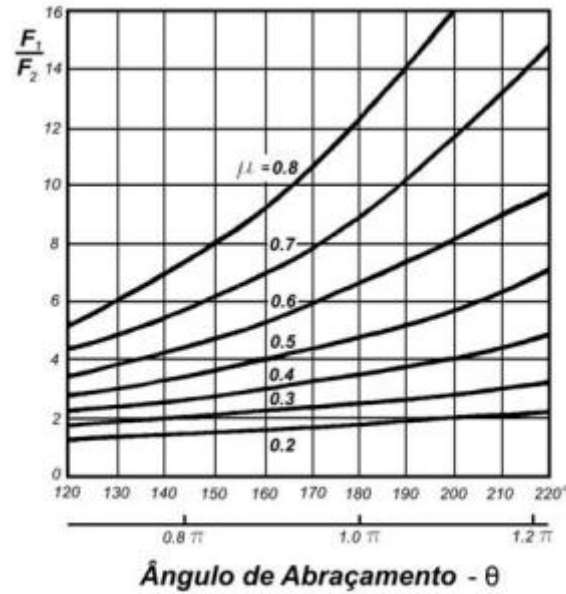


Figura 2.5. Relação entre as forças de tracção na correia e o ângulo de abraçamento [3]

Devido à rotação da polia, e em velocidades lineares maiores, a aceleração centrípeta causa uma força centrífuga que origina o movimento da correia para longe da polia. As tensões criadas devido a esta força centrífuga em ambos os lados, lado folgado e tenso, são conhecidas como tensões centrífugas, T_c .

Considerando o segmento delimitado por $d\theta$, a massa da correia nesse segmento é igual à multiplicação da massa da correia por unidade de comprimento com o comprimento do arco delimitado por $d\theta$. A força centrífuga é dada pela equação 2.12 [7].

$$F_c = \frac{M \times v^2}{R} = \frac{m \times R \times d\theta \times v^2}{R} = m \times d\theta \times v^2 \quad (2.12)$$

A equação de equilíbrio, e considerando, na figura 2.4, apenas a tensão centrífuga em ambos os lados da correia, tem-se:

$$F_c = T_c \times \sin \frac{d\theta}{2} + T_c \times \sin \frac{d\theta}{2} \quad (2.13)$$

Igualando as equações (2.12) e (2.13) tem-se :

$$2T_c \times \sin \frac{d\theta}{2} = m \times d\theta \times v^2 \Leftrightarrow T_c = m \times v^2 \quad (2.14)$$

Considerando a tensão centrífuga obtém-se a equação 2.15,

- *Tensão no lado esticado* = $F_1 + T_c$
- *Tensão no lado folgado* = $F_2 + T_c$

$$\frac{F_1 - T_c}{F_2 - T_c} = e^{\mu \cdot \theta} \quad (2.15)$$

2.3. Centragem da correia plana em sistemas de transporte

Devido ao escorregamento e à deformação elástica na transmissão por correias planas, o movimento lateral da correia é muitas vezes um problema. Os sistemas de centragem como o deslocamento angular das polias ou o uso de polias cónicas eram apenas conhecidos por experiência, um estudo intensivo sobre este assunto estava em falta. Este estudo foi liderado pelo professor Klaus Hoffman da Universidade Técnica de Viena, onde publicou uma série de artigos [9-12] relacionados com modelos analíticos e numéricos no movimento lateral da correia plana com polias abauladas e polias inclinadas.

Estes estudos deveram-se ao facto de quando a correia é conduzida por polias cilíndricas e apoiada em rolos de suporte não possuir qualquer efeito de centragem, o que leva a que a correia seja conduzida instavelmente. Este estudo serviu para investigar os efeitos de comportamento da correia com alguns sistemas de centragem, tais como o deslocamento angular e a conicidade das polias.

Segundo Hoffman, K. [10-11] os sistemas de centragem podem ser separados em dois princípios físicos básicos na condução de correias planas :

A condição “forma” implica que o efeito na condução da correia depende da geometria e das forças normais. Os sistemas aqui implícitos baseiam-se na obrigação de conduzir a correia numa determinada trajectória exercendo forças normais directamente sobre a parte lateral da correia. É um método simples e barato mas só deve ser usado em aplicações ligeiras, não devendo ser considerado como um sistema de centragem fiável e eficaz. A rigidez transversal da correia é limitada, e deste modo a deformação dos bordos arestas da correia e o seu possível encurvamento, assim como o seu desgaste podem ocorrer.

O outro princípio é a condição “força”, que implica que o efeito na direcção da correia depende da carga de contacto e no atrito. Estes sistemas são baseados na velocidade relativa e na pressão existente na zona de abraçamento entre a polia e a correia. Neste caso entram por exemplo as formas geométricas da polia, tais como a cónica e a cilíndrica. Na polia com forma cónica, a correia move-se em direcção ao maior diâmetro, enquanto na polia com forma

cilíndrica a movimentação lateral da correia depende da orientação dos eixos das polias. As polias cilíndricas e cónicas actuam de uma forma distinta. Enquanto a polia cónica faz com que a correia se movimente em direcção ao seu maior diâmetro, no sentido de reduzir a curvatura lateral da correia e reduzir os esforços no seu interior, uma correia que se está a ser conduzida por uma polia cilíndrica em que o seu eixo de rotação não está perpendicularmente alinhado com o eixo central da instalação, movimenta-se na direcção perpendicular ao eixo da polia, onde, por seu lado, é o lado onde existe menor tensão.

Segundo o princípio em que nas polias cónicas (Fig.2.6), a correia movimenta-se em direcção ao maior diâmetro da polia [11], as polias são construídas com uma forma abaulada, onde o seu centro apresenta maior diâmetro que outra qualquer parte da polia.

Dentro deste tipo de forma abaulada, existe outro tipo de polia que consiste numa forma cilíndrica com as extremidades cónicas que são extremamente eficazes na centragem de correia e, caso ocorra algum evento que tenha como consequência um possível descentramento a correia vai ser alinhada apropriadamente sem necessidade de ajuste dos eixos da polia.

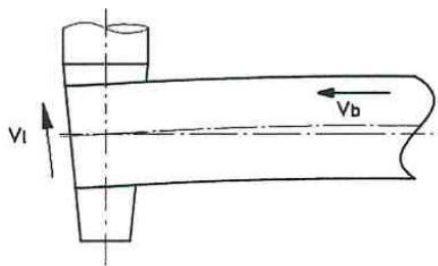


Figura 2.6. Abraçamento da correia numa polia cónica [11]

Quanto aos sistemas com as polias cilíndricas, existem dois métodos que consistem na inclinação das mesmas.

Um dos métodos consiste no deslocamento angular da polia no plano horizontal (Fig.2.7). Este método consiste na condução da correia por uma polia cilíndrica em que o seu eixo de rotação está desviado angularmente no plano paralelo ao plano da correia.

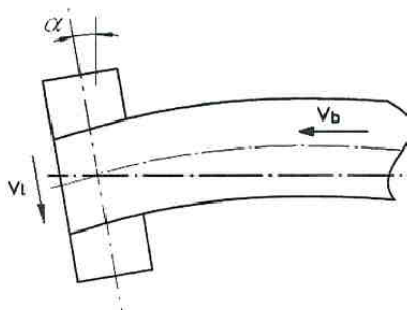


Figura 2.7. Centragem da correia por desvio angular da polia no plano paralelo ao plano da correia [11]

O outro método consiste no deslocamento angular da polia no plano vertical, ou seja, o eixo da polia permanece perpendicular ao eixo central da instalação mas a polia é desviada angularmente no plano perpendicular ao plano da correia (Fig.2.8).

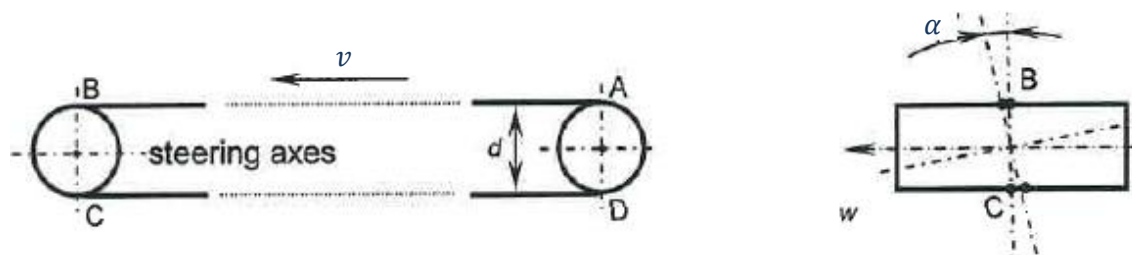


Figura 2.8. Centragem da correia por desvio angular da polia no plano perpendicular ao plano da correia [11]

A influência do deslocamento angular das polias bem como a variação de diâmetro ao longo do seu comprimento é bastante importante na centragem e condução da correia mas estes podem aparecer involuntariamente devido a imprecisões. Os parâmetros mais influentes na centragem da correia são as posições relativas entre as polias, sendo também fundamental a forma geométrica e a inclinação do eixo das mesmas [9].

Hoffman, K. [9] estudou o movimento da lateral da correia circulando num conjunto de polias, onde investigou a distância entre o eixo central da instalação e o eixo central da correia quando se abraça na polia. O movimento lateral da correia junto ao eixo da polia é determinado pela forma ou inclinação da correia referente ao instante em que ela se aproxima da polia cilíndrica.

2.3.1. Sistemas de centragem

- **Abaulamento das polias**

O abaulamento nas polias, principalmente na polia motora permite a centragem da correia. Como resultado da velocidade e das diferenças de tracção, a correia inclina-se aquando o abraçamento da polia. Posto isto, a correia desloca-se em direcção ao centro da polia, onde se encontra o diâmetro de maior dimensão.

O facto de a correia se movimentar em direcção ao maior diâmetro da polia é explicado pelo facto que quando a correia se encontra nas laterais da polia, esta fica esticada, aumentando a tensão sobre ela. Devido a essa situação, a correia vai procurar a posição mais conveniente para o seu funcionamento que, por seu lado, é quando está a trabalhar em linha recta e portanto o aumento do diâmetro no centro da polia é fundamental.

- **Deslocamento angular das polias**

Como referido no ponto 2.3, sistemas em que se desloca angularmente uma polia ou rolos de suporte, a correia movimenta-se para o lado em que existe menor tensão, evitando assim que a correia se descentre da instalação. À medida que a correia se movimenta para uma parte lateral da instalação, o mecanismo é capaz de inclinar a polia, com um certo ângulo,

para a frente no lado onde a correia se está a descentrar, exercendo maiores tensões nesse lado e permitindo assim que a correia se movimente de volta para o eixo central da instalação.

Este sistema é, também, utilizado nos rolos de suporte e muito importante na centragem do lado de retorno da correia onde é colocado em algumas polias de suporte, as quais são desviadas angularmente no plano paralelo ao plano da correia consoante o movimento lateral do seu eixo longitudinal.

- **Polias de abraçamento**

Este sistema, apesar de não ser considerado um sistema de centragem de correia plana, permite aumentar o ângulo de abraçamento na polia motora e a pressão exercida entre a correia e a polia, melhorando por sua vez a potência de transmissão. São colocadas normalmente no lado de menor tensão da correia, o que muitas vezes, é a seguir à polia de retorno. Estas podem fornecer algum efeito de centragem à correia quando é imposto um mecanismo que permite o ajuste da sua posição.

- **Condutores em “V”**

Estes rolos são colocados no lado de retorno da correia com um certo ângulo no plano perpendicular ao plano da correia. São colocados sobre e sob a correia, produzindo estes dois sistemas, diferentes efeitos de centragem. A colocação por parte destes rolos no lado de retorno da correia permite aumentar o efeito de centragem na correia devido ao aumento do coeficiente de atrito.

- **Dispositivo de centragem com rolos e roletes**

Os rolos e roletes são usados como suporte da correia e onde são instalados em certos rolos ou roletes, um sistema de centragem no qual os rolos são inclinados consoante o sentido do movimento da correia, movimentando a correia na direcção perpendicular ao seu eixo, evitando assim o descentramento da correia. Para além deste sistema, no conjunto, são colocados, dois pequenos rolos laterais que permitem que a correia não se movimente lateralmente, trabalhando semelhantemente aos sistemas de deslocamento angular das polias que, quando a correia se movimenta para um lado, o conjunto é disposto de modo que a correia se movimente de volta para o eixo central da instalação.

- **Perfis guia nas polias**

Estes perfis são utilizados para compensar algumas forças transversas que podem ocorrer sobre a parte lateral da correia (Fig. 2.9). Devido ao seu grande custo de produção e à sua eficiência limitada, estes perfis são pouco utilizados na centragem da correia. Esta medida apenas serve como prevenção, e é apenas utilizado nas zonas da instalação onde ocorrem forças transversais.

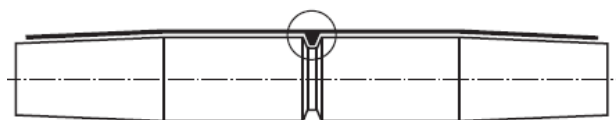


Figura 2.9. Perfil guia introduzido na polia [19]

- **Rolos guia laterais**

São montados nas laterais da instalação e não permitem que a correia se descentre. São utilizados como rolos guia, e conduzem a correia numa determinada trajectória exercendo forças normais sobre a parte lateral da correia (Fig.2.10). Apenas são utilizados como uma solução temporária e não como uma solução contínua porque danificam as arestas da correia levando ao seu desgaste e posterior manutenção.

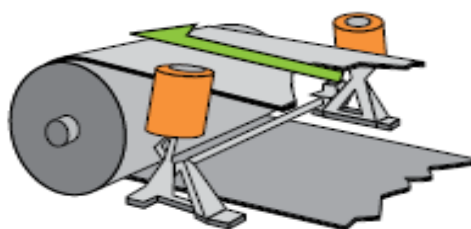


Figura 2.10. Rolos guia laterais [40]

- **Guias laterais**

Tal como os rolos laterais, são colocadas nas partes laterais da instalação, sobre a correia (Fig. 2.11), sendo uma solução temporária na centragem das correias planas. As guias conduzem também a correia numa determinada trajectória impedindo-a de se descentrar exercendo forças normais na sua parte lateral.

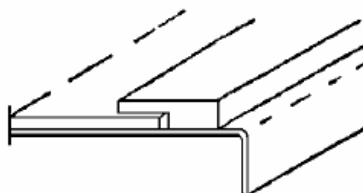


Figura 2.11. Guia lateral [21]

- **Sistema automático de controlo da correia**

Este sistema trabalha com sensores que estão colocados junto aos bordos da correia e à medida que a correia se começa a descentrar enviam um sinal para o mecanismo que vai actuar sobre uma polia, sendo esta a responsável pela centragem da correia (Fig.2.12).

Este sistema pode resolver os mais sérios casos de descentramento. Normalmente apenas é utilizado em instalações em que outros sistemas não tenham sido eficientes, devido ao elevado custo na sua utilização.

Na utilização deste sistema, a correia pode não estar sempre centrada, devido aos repetitivos movimentos que os sensores lhe dão, movimentando-a de extremo a extremo.

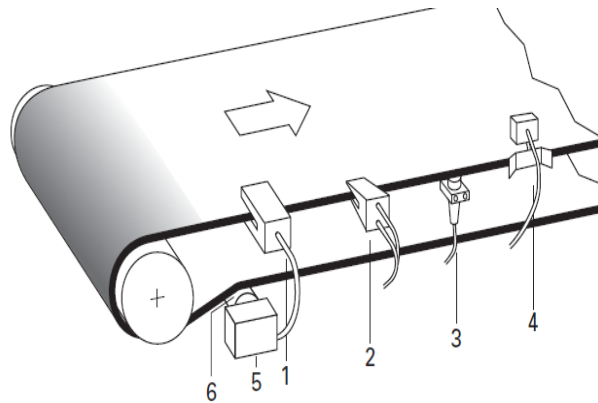


Figura 2.12. Sistema de centragem automático [19]

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 1. <i>Scanner</i> óptico | 5. Mecanismo de controlo: |
| 2. Sensor pneumático | Eléctrico, pneumático ou |
| 3. Sensor eléctrico | hidráulico |
| 4. Sensor mecânico | 6. Polia capaz de centrar a |
| | correia |

2.4. Teoria axiomática

A teoria axiomática pode ser definida como um método sistemático de realização de projectos de engenharia.

A teoria axiomática fornece uma abordagem sistemática para projetar, com base no pensamento científico, através da introdução de axiomas e teoremas, bem como os conceitos de domínios, de decomposição em zigue-zague, e concepção de matrizes, para todos os níveis do processo do projecto [14].

Na teoria axiomática, a solução de um projecto baseia-se numa estrutura definida por quatro domínios principais:

Domínio do cliente : Contém a necessidade do cliente. O projecto inicia-se com a identificação das necessidades do cliente, que são as características que este espera encontrar no produto ou no serviço em causa.

Domínio funcional : Contém os requisitos funcionais do projecto. Estes são as características que o produto tem de possuir para satisfazer as necessidades do cliente.

Domínio físico : Contém os parâmetros de projecto da solução de projecto. São estes parâmetros que regulam as características do projecto e que permitem satisfazer os requisitos funcionais

Domínio do processo : Contém as variáveis do processo que definem os processos de produção para que se obtenham os parâmetros de projecto já definidos.

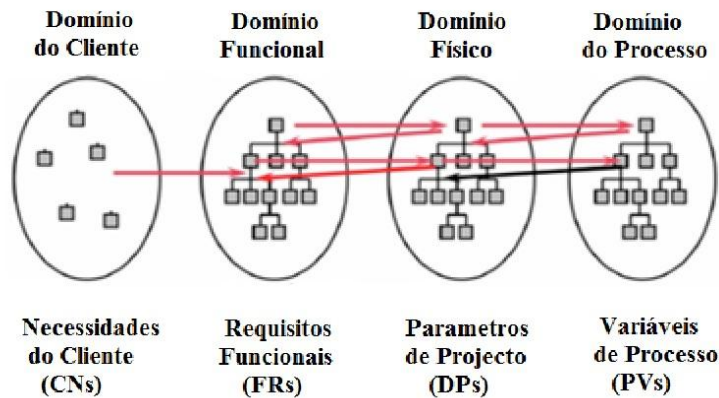


Figura 2.13. Domínios da teoria axiomática e as suas interligações [14]

O projecto é conseguido por interações entre os objectivos do mesmo e a maneira usada para atingir esses objectivos. Os objectivos do projecto são especificados no domínio funcional, e a maneira de os alcançar é proposto no domínio físico (Fig. 2.13) [14].

A concepção de um projecto consiste na interligação entre os domínios, onde é representado pelas matrizes de projecto. A interligação dos requisitos funcionais e os parâmetros de projecto é realizada através da equação 2.13 [14] :

$$\{RF\} = [A]\{PP\} \quad (2.13)$$

Onde :

$$A_{ij} = \frac{\partial RF_i}{\partial PP_j} \quad (2.14)$$

Caso PP_j afecte RF_i , o elemento A_{ij} na matriz de projecto é não nulo. Caso contrário é nulo.

2.4.1. Hierarquia do projecto e decomposição Zig-Zag

De acordo com a teoria axiomática, o projecto deve ser desenvolvido a partir de um nível superior e contínuo com interligações entre os domínios funcional e físico, até aos níveis inferiores que contêm mais detalhe.

Após a resolução dos níveis de topo, RFs e PPs são identificadas para providenciar informação suficiente sobre o projecto, e elas devem ser compostas até que a descrição da solução do projecto, suficientemente detalhada, seja atingida. As hierarquias que foram estabelecidas entre os RFs e PPs representam a estrutura do projecto, o qual é conhecido como o sistema de arquitectura do projecto [14].

As decisões do projecto que são feitas em cada nível têm importantes consequências nos níveis inferiores. As intenções de maior nível de projecto devem ser decompostas nos

níveis mais baixos de objectivos do projecto, devendo estes ser consistentes com os níveis mais altos de objectivos de projecto.

Um exemplo de uma possível decomposição em zig-zag entre os domínios funcionais e físicos num projecto de um motor é demonstrado na figura 2.14.

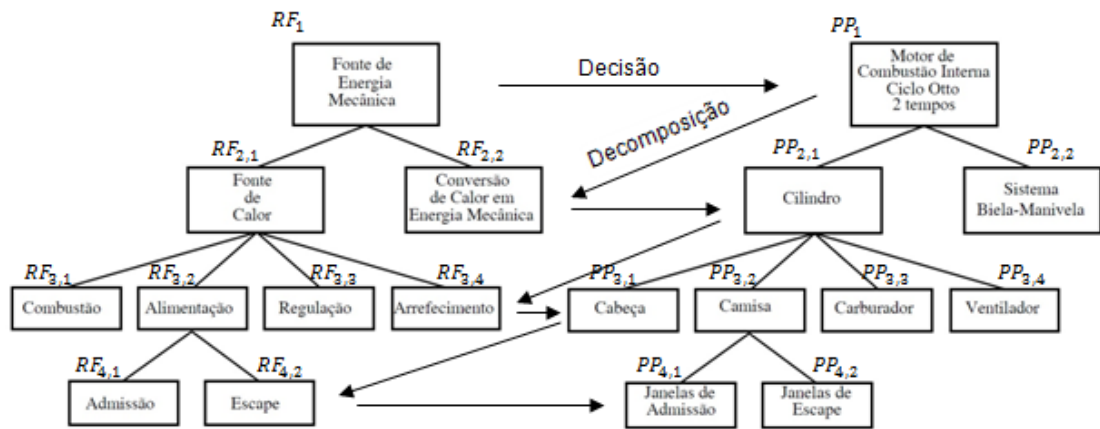


Figura 2.14. Trajecto Zig-Zag e as hierarquias de projecto [14]

2.4.2. Princípios de projecto

Existem dois princípios de projecto, ou axiomas, usados na teoria axiomática, que fornecem uma ferramenta para análise e regem a boa prática do projecto. De acordo com a teoria axiomática, um bom projecto precisa de obedecer a estes dois axiomas :

- Axioma da Independência (Primeiro Axioma)

Mantém a independência dos requisitos funcionais. Isto significa que cada um dos RFs deve ser satisfeito apenas por um PP sem que este afecte a realização do outro RF.

Um projecto pode ser classificado como acoplado, desacoplado ou desacoplável, de acordo com as relações entre os requisitos e os parâmetros. Num projecto acoplado, um parâmetro influencia mais do que um requisito, o que leva a que qualquer alteração num parâmetro influencie vários requisitos, produzindo assim efeitos secundários indesejados.

Este axioma estabelece que num projecto ideal, o número de parâmetros de projecto tem de ser igual ao número de requisitos funcionais e estes últimos devem ser independentes. Este projecto é conhecido como desacoplado e é caracterizado por uma matriz de projeto diagonal, onde qualquer alteração num parâmetro influencia apenas um requisito, sem afectar os outros.

O projecto desacoplável é semelhante ao projecto desacoplado mas tem a particularidade de poder ser adaptado de forma a poder ser tratado como um projecto desacoplado. Se os parâmetros forem definidos para cada requisito segundo uma sequência apropriada, é possível organizar o projecto de forma a garantir a independência dos requisitos, como por exemplo uma matriz de projecto triangular.

As categorias básicas do projecto são baseadas na forma da matriz de projecto (Fig.2.15), onde "X" representa os elementos não nulos.

$\begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ X & X & 0 \\ X & X & X \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} X & X & X \\ X & X & X \\ X & X & X \end{bmatrix}$
Desacoplado	Desacoplável	Acoplado

Figura 2.15. Diferentes categorias de matrizes de projecto [14]

Porém, nem todos os projectos possuem igual número de parâmetros de projecto e requisitos funcionais.

Teorema 1 [15] : No caso de existirem parâmetros em menor número que requisitos, então, o projecto ou é acoplado ou, os requisitos não podem ser satisfeitos.

Teorema 3 [15] : Quando o número de PPs é superior ao de RFs, o projecto é redundante ou é acoplado.

Mas regra geral, a equação de um projecto desacoplado ou quase-acoplado torna-se acoplada quando cada coluna da submatriz de redundância tem mais do que um elemento não nulo. A categoria de projecto nos projectos redundantes é realizada através dos seguintes teoremas [16] :

Teorema R1 : Todos os projectos redundantes com um projecto cuja matriz é trapezoidal direita são desacopláveis. Corolário: Todos os projectos com um losango ou um projecto romboide na sua matriz são desacopláveis.

Teorema R2 : Projectos redundantes com matrizes de projecto com diagonais em bloco são desacoplados. Corolário: Matrizes de projecto com apenas um elemento não-nulo por coluna correspondem a projectos desacoplados.

Teorema R3 : Projectos redundantes com matrizes de projecto compostas por blocos triangulares são desacopláveis.

Teorema R4 : Projectos redundantes com matrizes compostas por concepção de blocos diagonal e triangular são desacopláveis.

- Axioma da Informação (Segundo Axioma)

Minimiza o conteúdo da informação do projecto. O objectivo deste axioma é ajudar em encontrar uma solução alternativa do projecto com a maior probabilidade de alcançar os requisitos.

O axioma da informação é usado para comparar as soluções alternativas previamente encontradas e refere que, se houver soluções para o mesmo projecto que cumpram o primeiro axioma, a solução com menor quantidade de informação será a melhor e portanto, será essa a escolhida.

3. As correias planas em actividades de transporte

O sistema transportador efectua o transporte de vários produtos de um ponto ao outro de uma forma rápida e eficiente. É composto por muitos componentes estruturais e funcionais, nos quais encontramos a polia motora, a polia de retorno, e outros elementos essenciais no transporte de material, nas quais estão inseridos os sistemas de centragem (Fig.3.1)

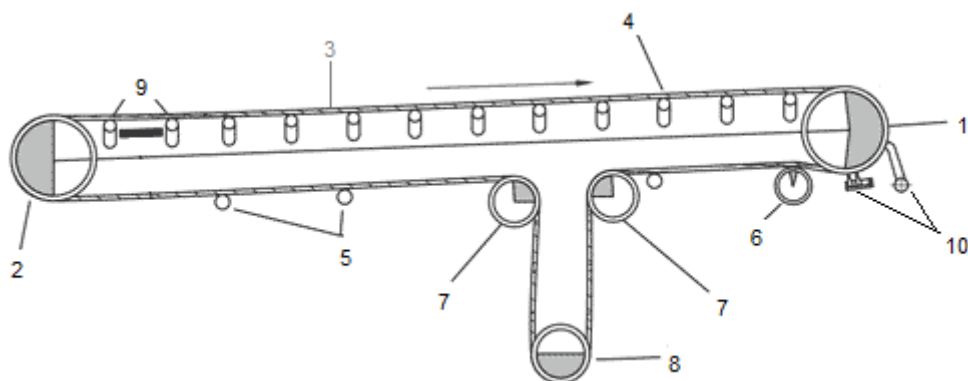


Figura 3.1. Transportador de correia plana e principais componentes

- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Polia motora | 6. Polia de abraçamento |
| 2. Polia de retorno | 7. Polia de desvio |
| 3. Correia transportadora | 8. Esticador de correia |
| 4. Rolos/Rolotes de suporte | 9. Rolos/Rolotes de impacto |
| 5. Rolos/Rolotes de retorno | 10. Limpadores de correia |

Manter a correia centrada em toda a estrutura do transportador e principalmente quando a correia se movimenta para a zona de carga é fundamental. Se a correia não estiver correctamente centrada quando receber a carga, a força da carga aumenta levando ao descentramento da correia e a outros problemas no lado de transporte da correia. Posto isto, os sistemas de centragem integram uma parte fundamental nos sistemas transportadores, sendo estes os responsáveis pelo bom funcionamento da instalação, inserindo-se nos componentes responsáveis pela condução da correia em toda a instalação.

3.1. Correia transportadora

A correia é o elemento de tracção existente no transportador e movimenta o material na sua superfície. A correia necessita de ter propriedades essenciais, tais como flexibilidade, rigidez transversal, alta resistência à deterioração, e outros factores que são fundamentais para o bom funcionamento do transportador. Para que possua tais características, a correia é constituída por uma carcaça envolvida por uma determinada camada. A cobertura superior é a

superfície onde é realizado o transporte de material enquanto a cobertura inferior fica em contacto com a estrutura (Fig. 3.2).

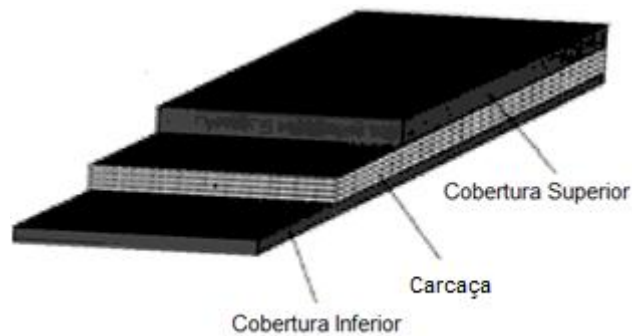


Figura 3.2. Constituição de uma correia plana transportadora

A carcaça é uma parte mais importante da correia porque não só absorve grandes forças de tracção como, também, permite o transporte de material.

A carcaça fornece características fundamentais à correia como a capacidade de resistir à tracção e elasticidade. É constituída por elementos de tracção que por sua vez podem ser compostos por fibra sintética, arames de aço ou mesmo cabos de aço. Estes elementos são directamente responsáveis pela capacidade de transmissão das correias. Porém, quanto maior a resistência destes elementos menor é a flexibilidade da correia. A capacidade de carga de uma correia depende, também, dos elementos internos de tração, das condições de trabalho e da velocidade.

Na maioria das correias, a carcaça é protegida dos dois lados por um tecido exterior de borracha. É a textura e a qualidade da cobertura que determina se a correia tem capacidade de resistir a uma vasta gama de efeitos prejudiciais como a deterioração causada por factores ambientais.

As correias planas para transmissões podem ser construídas com diferentes tipos de material, em couro, que suportam bem as cargas e apresentam bastante elasticidade, em material fibroso e sintético, e para transmissões com polias de pequenos diâmetros, podem ser construídas com uma mistura entre couro e material sintético e fibroso, em que a sua face interna é feita de couro e a externa de material sintético. Esta combinação produz uma correia com bastante flexibilidade e capaz de transmitir grandes potências.

A selecção da correia para cada tipo de transportador é baseada em alguns aspectos a ter em conta :

- Características e temperatura do material a transportar;
- Condições de serviço;
- Tipo de rolos/roletes a ser usado;
- Largura da correia;
- Tensão máxima, com que traccionamento a correia será solicitada;
- Tempo do percurso da correia.

As velocidades máximas recomendadas para uma correia transportadora dependem em grande parte das características do material a ser transportado (Tabela 3.1).

Tabela 3.1. Valores máximos recomendados de velocidade para correias transportadoras [17]

Material	Velocidade (m/s)	Largura (mm)
Carvão, argila húmida, minério macio, sobrecarga e terra	3.048	457
	4.064	610-914
	5.08	1067-1524
	6.1	1829-2438
	7.11	2743-3048
Minério pesado, material duro e gumes afiados, pedra grossa esmagada	2.032	457
	3.048	610-914
	4.064	1067-1524
	5.08	1829-2438
	6.1	2743-3048
Granel, outro fluxo livre, material não abrasivo	2.032	457
	3.048	610-762
	4.064	914-1067
	5.08	1219-2438
	6.1	2743-3048
Areia de fundição, preparada ou húmida, agitada com pequenos núcleos e com, ou de pequenas peças fundidas	1,78	Qualquer largura

3.2. Polias

As polias são elementos de máquinas rígidos que juntamente com as correias completam este tipo de transmissão mecânica. São elementos cilíndricos que são movimentados pela rotação do eixo do motor e pelas correias. As polias têm que ser cuidadosamente alinhadas paralelamente entre si e perpendicularmente em relação ao eixo da correia, para prevenir o descentramento da correia.

Em sistemas de transmissão por correias planas, os tipos de polia são determinados pela forma da superfície na qual a correia se abraça. As polias tanto podem ser planas como trapezoidais. Existem dois tipos de polias para correias planas, as cilíndricas e as abauladas.

Nos sistemas de transmissão por correia as polias possuem várias funções no transportador :

- Motora – utilizado para a transmissão do momento de força. Pode ser colocada nos extremos ou no centro do transportador, consoante as necessidades de transporte;
- Retorno – efectua o retorno da correia à sua posição inicial e por vezes podem ser estas as responsáveis pelo esticamento da correia;
- Esticador de correia – Adequam as forças de tracção para o bom funcionamento do transportador;
- Desvio – Assistem os esticadores de correia, desviando o curso da correia;
- Abraçamento – Utilizadas para aumentar o ângulo de abraçamento na polia motora ou de retorno.

O diâmetro das polias depende da largura da correia e da velocidade da mesma. Quanto maior o diâmetro da polia, maior será a vida útil da correia, devido ao menor esforço de flexão que está sujeita. As polias devem ser largas o suficiente para que a correia faça contacto com elas em toda a sua largura.

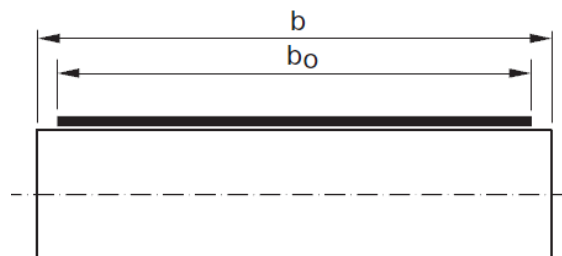


Figura 3.3. Polia cilíndrica [19]

Tabela 3.2. Largura da polia cilíndrica recomendada para certos valores de largura da correia [19]

Largura da Correia (b_0)	Largura da polia (b)
$\leq 100 \text{ mm}$	$b_0 + 20 \text{ mm}$
$> 100 \text{ mm}$	$(1.08 \times b_0) + 12 \text{ mm}$

A centragem é definida como um processo essencial para a vida da correia porque previne a correia de se desviar do seu correcto alinhamento. O descentramento da mesma pode ter consequência drásticas, tais como o escorregamento de material nos pontos de transferência bem como possíveis danos laterais na correia transportadora e nos seus componentes. Sistemas de centragem impróprios também contribuem para os danos laterais e desgaste excessivo da correia.

Na centragem da correia as polias desempenham um papel fundamental dado que a correia é conduzida pelas mesmas. Existem sistemas de centragem que envolvem as polias, dando uma geometria especial à superfície da polia, e caso sejam cilíndricas, deslocando angularmente o seu eixo para conseguir a direcção pretendida da correia, sendo estes dois os parâmetros mais influentes na condução e centragem da correia.

Polias cilíndricas

Quando uma correia é conduzida por polias cilíndricas, e estas estão com os seus eixos perpendiculares ao movimento da correia, então as forças que actuam serão paralelas à direcção da correia, o que faz com que não haja nenhuma força de direcção exercida na correia. Caso os eixos das polias não estejam paralelos entre si e perpendiculares com o eixo longitudinal da correia, a correia sofre um desvio para o lado de menor tensão, ou seja, o movimento da correia em polias cilíndricas depende da orientação dos eixos das polias.

Como referido no ponto 2.3, existem dois sistemas de centragem que consistem no deslocamento angular das polias [11]. Um dos sistemas consiste na condução da correia por uma polia cilíndrica que é ajustada angularmente no plano paralelo ao plano da correia, levando ao movimento da correia em direcção ao lado de menor tensão (Fig. 2.7). Estes sistemas consistem no ajuste e inclinação das polias por unidades de accionamento hidráulicas ou eléctricas. Este é um método caro mas bastante preventivo em termos de desgaste de componentes que permitem a centragem da correia.

O outro sistema consiste no deslocamento angular do eixo da polia no plano perpendicular ao plano da correia. Em comparação com o sistema anterior, este sistema exerce menores forças de direcção e minimiza as tensões na correia devido ao menor encurvamento desta aquando o abraçamento na polia [11].

O movimento lateral da correia junto ao eixo da polia é determinado pela forma ou inclinação da correia referente ao instante em que ela se aproxima da polia cilíndrica [9].

Polias abauladas

Devido à tendência de as correias se deslocarem para diâmetros superiores em polias cónicas, concluiu-se que uma das melhores formas de centrar correias planas é construir polias com uma forma abaulada (Fig. 3.4) [11].

Na aproximação da correia à polia abaulada, a correia é deformada devido à forma da polia. O movimento lateral da correia na polia é determinado pela interligação da forma com que a correia se aproxima da polia e pela geometria da polia [9].



Figura 3.4. Polia abaulada [21]

Porém, apesar desta forma ser a ideal para a condução da correia e respectiva centragem, o facto de possuir uma forma complexa, é uma desvantagem porque é difícil e dispendiosa a sua construção.

Devido a esse factor, este tipo de polias são usualmente construídas com uma forma cilíndrica e extremidades cónicas (Fig.3.5), em que são capazes de fazer a auto-centragem da correia.

Estas polias trabalham a partir de um princípio básico que quando a correia toca na parte superior da polia, esta conduz automaticamente a correia ao centro e, quando a parte lateral da correia começa a descentrar e a abraçar a parte cónica da polia, o movimento lateral é revertido e o deslocamento da correia é feito em direcção ao centro da polia [11]. Ou seja, se a correia tem a tendência para se desviar para um lado, por exemplo, lado esquerdo, as forças de centragem no lado esquerdo tenderão a aumentar conforme a área de contacto vai aumentando, e, as forças de centragem do lado direito da extremidade da polia irão diminuir [19]. Este facto faz com que a força resultante direcione a correia de volta ao centro da polia onde as forças de centragem estão em equilíbrio.

Para que a condução e a centragem sejam bem efectuadas, a polia abaulada, tal como a cilíndrica, tem que possuir dimensões de acordo com o tamanho da correia.

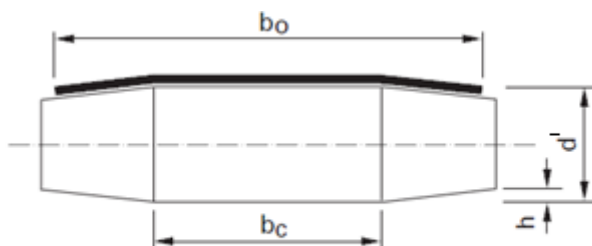


Figura 3.5. Polia cilíndrica com extremidades cónicas [19]

Tabela 3.3. Largura da polia abaulada recomendada para certos valores de largura da correia [19]

Largura da Correia (b_0)	Largura da polia (b_c)
$\leq 2000 \text{ mm}$	$\frac{b_0}{2}$
$> 2000 \text{ mm}$	$b_0 - 1000 \text{ mm}$

A altura da coroa, h , para além de depender do diâmetro da polia, depende também da flexibilidade da correia e do atrito existente entre a correia e a polia. A altura da coroa é importante para a condução e centragem da correia porque é devido a esta altura que a correia se terá que ajustar na polia. Devido à dependência de vários factores, tais como o material da polia e o seu diâmetro, na tabela 3.4, encontram-se as dimensões referentes a um sistema para uma polia de aço.

Tabela 3.4. Altura da coroa recomendada para certos diâmetros de polia de aço [19]

Diâmetro da Polia (mm)	≤ 50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
h (mm)	0.25 a 0.4	0.35 a 0.5	0.45 a 0.7	0.55 a 0.8	0.65 a 1	0.75 a 1.1	0.85 a 1.3	0.95 a 1.4	1.05 a 1.6	1.15 a 1.7

3.2.1. Polias motora e de retorno

As polias motora e de retorno são ambas utilizadas nas correias transportadoras para transmissão de potência. A polia motora transmite o momento de força do motor e a polia de retorno recebe a potência através da força de atrito da correia capaz de a movimentar e, tal como o nome indica, serve para o retorno da correia. São igualmente responsáveis pela centragem e esticamento das correias transportadoras.

Os tapetes transportadores podem operar em dois sentidos de transporte ou em ambos. O caso mais habitual, accionamento frontal, é quando a correia é puxada pela polia motora, resultando assim em menores forças de tracção e menores tensões transmitidas aos componentes do transportador [19] (Fig. 3.6). Noutro caso, em que o accionamento é colocado no início do transportador, accionamento traseiro, o ramo de retorno da correia é que é traccionado pela polia motora, sendo esta uma técnica mais utilizada quando a operação em questão consiste em transportadores com inclinação descendente, utilizando a polia motora como dispositivo de paragem. Neste caso, a correia está sujeita a maiores tensões devido ao maior esforço que a correia tem de imprimir na polia de retorno para a sua rotação (Fig. 3.7), o que implica, por vezes, que a instalação tem que ser construída por uma estrutura robusta. Nos transportadores reversíveis, a correia tanto pode operar para um lado como para o outro, e para compensar os efeitos de colocar a polia motora apenas de um lado, a polia motora é colocada no centro da instalação (Fig. 3.8).

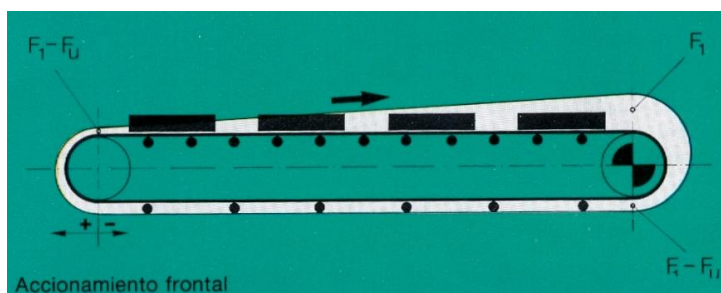


Figura 3.6. Evolução das forças de tracção da correia no accionamento frontal [22]

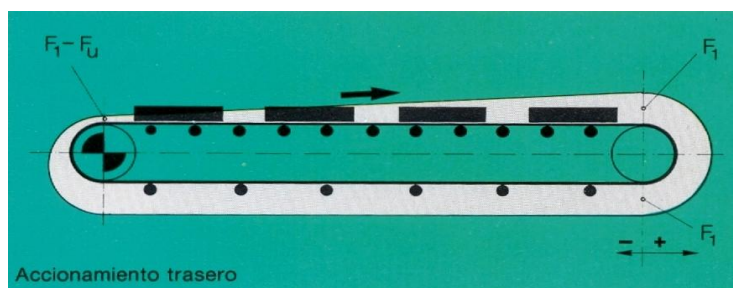


Figura 3.7. Evolução das forças de tracção da correia no accionamento traseiro [22]

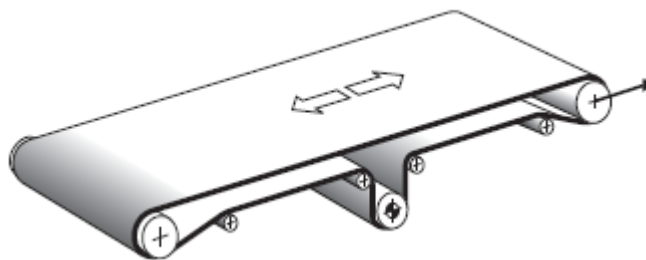


Figura 3.8. Transportador reversível [19]

Para que a centragem seja eficaz nos transportadores, a polia motora tem que estar obrigatoriamente com a forma abaulada que, para além de produzir forças periféricas, produz também o efeito de centragem ao lado de transporte da correia. Nos transportadores reversíveis, em que a polia motora se encontra no centro da instalação e as polias de retorno nos extremos, o abaulamento das polias de retorno é fundamental, dado que a correia se movimenta para qualquer um dos lados, possuindo também a polia motora a forma abaulada.

Os transportadores de correia plana tanto utilizam polias cilíndricas como abauladas, onde, regra geral, as polias que estão em contacto com o lado interior da correia são abauladas, e as que estão em contacto com o lado exterior, cilíndricas. No entanto, as cilíndricas podem ser colocadas tanto do lado exterior como do lado interior da correia.

Quando, nos transportadores, o comprimento da correia ultrapassa 4 vezes a largura da mesma, o abaulamento da polia de retorno é importante [21], devido às inúmeras causas que possam levar ao descentramento no trajecto polia motora - retorno.

Devido ao risco de escorregamento na instalação, a polias motora não deve possuir superfícies lisas. Para tal, insere-se um revestimento na polia, como um revestimento de borracha, que permite um aumento no ângulo de abraçamento e/ou um aumento do coeficiente de atrito dependendo sempre do material do revestimento. A polias motora não deve, também, possuir na sua superfície rugosidades muito elevadas porque podem causar o desgaste e falha prematura da correia.

3.2.2. Polia de abraçamento

Esta polia desempenha um papel importante no funcionamento do transportador, aumentando o ângulo de abraçamento na polia motora e que permitirá aumentar a força exercida entre a correia e a polia, melhorando a potência de transmissão (Fig. 3.9).

Tem um papel importante na centragem da correia na medida que aumenta o ângulo de abraçamento e o coeficiente de atrito entre a polia a correia [19].

Para auxiliar a centragem da correia, estas polias por vezes são ajustáveis, possibilitando a variação da posição da polia de abraçamento, apresentando-se com uma forma cilíndrica. A fim de manter as forças de tracção da correia no mínimo possível, o movimento de ajuste deve ser, sempre que possível, perpendicular à linha média do arco de

abraçamento, e a distância entre a polia motora ou de retorno e a polia de abraçamento deve ser aproximadamente o dobro do diâmetro da polia maior, evitando assim uma possível interferência entre ambas [19].

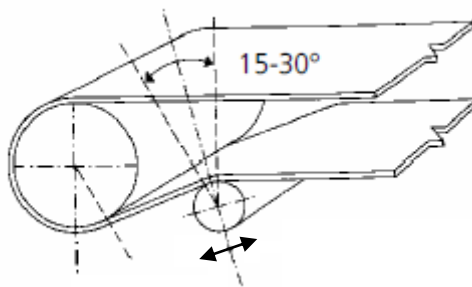


Figura 3.9. Polia de abraçamento [21]

Para proporcionar uma melhor centragem à correia, o arco de abraçamento destas polias deve estar situado entre os 15° e os 30° .

3.2.3. Esticadores de correia

Os esticadores de correia têm como principal função garantir a força de tracção adequada para o bom funcionamento da instalação, e, além disso, absorvem as variações no comprimento da correia causadas pelas mudanças de temperatura ou oscilações de carga. Com o escorregamento da correia, onde a correia está demasiado folgada para ser pressionada sobre a polia, os esticadores exercem a pressão necessária sobre a superfície da polia para a transmissão adequada da força de tracção. Os esticadores devem estar colocados na zona de menor tensão do transportador solicitando assim menores tensões ao transportador e resultando em menores cargas resultantes nos eixos do mesmo.

O esticamento da correia pode ser operado tanto manualmente como automaticamente. O ajustamento manual apesar de ser o método menos dispendioso e mais usado é o menos efectivo, pois não se adapta automaticamente às flutuações de temperatura, às mudanças de carga e ao alongamento da correia devido a um longo período de funcionamento [24].

Ao contrário do esticamento manual, o esticamento automático fornece um sistema de ajuste automático das forças de tracção à instalação, podendo ser operado por gravidade, accionado por mecanismo hidráulico, eléctrico ou pneumático. O ajustamento automático, para além de proporcionar o esticamento da correia automático à instalação, tem a vantagem de compensar as tolerâncias de fabrico, como por exemplo, o comprimento da correia, prolongando a vida útil da correia.

- **Esticadores de correia fixos**

Estes esticadores são usados em instalações onde não há a necessidade de compensar as variações do comprimento da correia ou de tensão da mesma durante a operação.

Uma solução simples é utilizar a polia de retorno como esticador, em que o ajustamento é feito paralelamente à direcção da correia. Esta solução, esticamento por parafuso, funciona através da montagem de parafusos tensores ligados ao eixo da polia do esticador, nas quais deve ser aplicado um binário para promover o deslocamento do eixo e, consequentemente, promover o esticamento da correia (Fig. 3.10).

Para este tipo de sistema funcionar sem causar danos colaterais na correia, ambas as polias têm obrigatoriamente de estar niveladas e alinhadas paralelamente, caso contrário, a vida da correia pode ser substancialmente reduzida e o descentramento da correia a consequência mais provável.



Figura 3.10. Esticador de correia por parafuso [38]

Este sistema dispensa o retensionamento, devido à sua baixa extensibilidade e estabilidade dimensional. Por estar fixamente montado, não é possível compensar as variações de comprimento que se produzem na correia aquando o seu arranque [19].

Quando a distância entre os eixos das polias dos extremos do transportador não pode ser variada, os esticadores são colocados no lado de retorno da correia, onde o seu ajuste é realizado manualmente (Fig.3.11).



Figura 3.11. Estecedor de correia basculante [39]

Por vezes, nos sistemas de transmissão longos e pesados utiliza-se uma polia esticadora imediatamente após a polia motora [19].

- **Esticadores de força constante**

Por outro lado, os esticadores de força constante compensam automaticamente as variações de comprimento da correia que ocorrem durante a operação. Estes dispositivos são desenhados e construídos com a capacidade de compensar estas variações de comprimento bem como assegurar o comprimento da correia para a força de tracção inicial requerida [19].

Em sistemas de transmissão pesados e longos é muito utilizado um sistema semelhante ao da figura 3.11, mas este funciona através de uma polia que recebe uma força contínua aplicada por um contrapeso (Fig.3.12). Este contrapeso ajusta automaticamente o comprimento da correia, trabalhando por acção da gravidade ou por molas, assegurando assim uma força constante à correia. Pode ser instalado em qualquer ponto do lado de retorno da correia, próximo a uma das polias principais, de preferência, a seguir à polia motora.



Figura 3.12. Estecedor de correia linear por gravidade através de um contra-peso [39]

O valor tanto do contrapeso para o esticador por acção da gravidade como para o esticador da polia de retorno é calculado pela equação 3.1 [23] :

$$G = 2 \times T_c + (\cos\lambda \times 0.10P_c) - (P_c \times \sin\lambda) \quad (3.1)$$

3.3. Condutores em V

A instalação dos condutores em V no lado de retorno da correia ajudam na centragem da correia. Estão disponíveis na forma de V tradicional e na forma de V invertido. Estes dois sistemas possuem uma força de centragem que permite corrigir o movimento da correia forçando a correia a movimentar-se centrada. Estes sistemas são mais caros e requerem uma manutenção mais considerável que um rolo de retorno convencional.

Estes sistemas dispõem de dois rolos inclinados entre os 5 e os 10° em relação ao plano da correia, posicionadas imediatamente a seguir às polias principais. Caso o transporte seja feito no sentido da polia de retorno para a motora, estes deverão estar situadas em frente à polia de retorno, e, caso seja feito no sentido da polia motora para a de retorno, estas devem estar situadas em frente à polia motora [19]. O sistema com o V tradicional é colocado sob a correia, enquanto o sistema de V invertido é colocado sobre a correia.

Quando estas estão sob o lado de retorno, a centragem é efectivamente melhorada, devido ao elevado coeficiente de atrito (Fig.3.13). No entanto, este sistema pode causar danos na correia, ficando a correia com algumas marcas causadas pela centragem do mesmo.



Figura 3.13. Condutor em V tradicional [41]

No caso do sistema em V invertido (Fig. 3.14), os rolos encontram-se situados sobre o lado de retorno da correia, colocando a correia sob menores tensões, devido à menor força de centragem imposta à correia, em comparação com o sistema em V tradicional [19]. O sistema V invertido é uma maneira eficaz de reduzir os danos estruturais da correia prevenindo o descentramento da mesma.



Figura 3.14. Condutor em V invertido [33]

Porém nestes sistemas, para melhorar a centragem da correia, os rolos podem ser inclinados entre 8° e 10° na parte lateral do sistema, em direcção ao movimento da correia na parte de retorno do transportador [19] (Fig. 3.15).

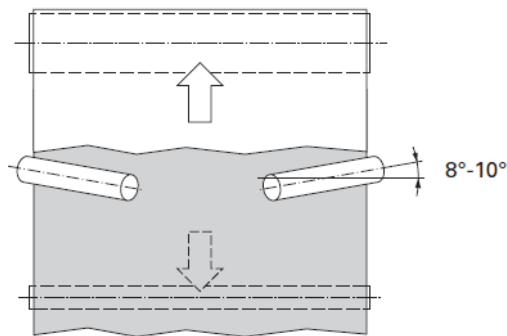


Figura 3.15. Inclinação dos condutores em V [19]

3.4. Rolos e roletes

Os rolos e roletes asseguram o suporte da correia e possuem sistemas capazes de girar livremente. O correcto dimensionamento destes rolos é fundamental para a garantia da eficiência da instalação e a sua respectiva centragem.

São separados com uma certa distância entre si e para além de suporte da correia, servem também como protecção da correia. Por vezes quando o material a transportar é muito pesado, estes auxiliam a centragem da correia, sendo construídos como dispositivos cilíndricos planos ajustáveis ou como um conjunto de rolos, o qual se dá o nome de rolete. São usados em estações paralelamente alinhadas e a distância entre eles é determinada pela largura do material a transportar na medida em seja suportado por um mínimo de dois rolos, e pela curvatura apresentada pela correia entre os rolos, a qual depende das forças de tracção da correia, da sua largura e outras propriedades.

Enquanto os rolos são dispositivos unitários, os roletes podem apresentar-se em conjuntos de dois, três ou cinco rolos acoplados entre si, que permite que cada rolo possua a

sua geratriz. São montados na estrutura de suporte e a aresta superior do rolo central do conjunto deve estar nivelada com a aresta superior da polia principal. Os roletes são construídos para formar uma concavidade através da qual a correia se movimenta. Esta concavidade contribui positivamente para a centragem da correia, incluindo também uma melhor capacidade de conter o material, em virtude do reduzido derramamento e da perda de material pelos bordos da correia devido a condições não favoráveis, como por exemplo, o vento.

Os tipos de suportes de rolos e roletes são especificados pela sua largura e pelo seu diâmetro. Estes parâmetros são baseados na velocidade necessária da correia para uma determinada largura (Tabela 3.5).

Tabela 3.5. Nomenclatura dos rolos [17]

CEMA Classificação	Diâmetro dos rolos (mm)	Largura da Correia (mm)	Descrição
B	101.6	457 – 1219	Leve
	127	457 – 1219	Leve
C	101.6	457 – 1524	Pouco pesado
	127	457 – 1524	Pouco pesado
	152.4	610 – 1524	Pouco pesado
D	127	610 – 1829	Pesado
	152.4	610 – 1829	Pesado
E	152.4	914 – 2438	Muito pesado
	177.8	914 – 2438	Muito pesado

A colocação dos rolos podem tanto ser no lado de transporte como no lado de retorno da correia. No lado de transporte, o suporte pode ser feito com rolos unitários bem como por roletes, sendo os roletes de três a cinco rolos mais usados. Já no lado de retorno, o suporte faz-se com rolos unitários separados com uma distância considerável, podendo também o rolete de dois rolos ser muito usado nesse mesmo lado. Para uma maior eficiência na condução da correia, é aconselhado que os rolos superiores do rolete sejam inclinados perpendicularmente ao plano da correia, não excedendo 25° para conjuntos de dois rolos e 40° para conjuntos de três rolos [19].

Num transportador de granel, por exemplo, a correia é formada em calha pelo lado de transporte e quando chega à execução do retorno, retoma a uma composição plana, ao passo que num transportador de cargas unitárias, por exemplo o transporte faz-se por meio de rolos cilíndricos planos ou base de suporte.

Estes rolos e roletes podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e por vezes são fornecidos com um revestimento anti atrito. A resistência do atrito nestes rolos influencia a tensão da correia e consequentemente a potência requerida.

Existem várias categorias de rolos e roletes, possuindo funções distintas na condução da correia.

3.4.1. Rolo/Rolete de carga

Estão localizados no lado traccionado do transportador e a sua função é suportar a correia transportadora, bem como a carga que está a ser transportada por ela. São utilizados tanto perfis côncavos como perfis planos consoante o material a transportar (Fig. 3.16).

Os rolos cilíndricos utilizados para suporte de correias planas necessitam de estar posicionados em ângulos rectos com o eixo central da correia, e, caso estejam mal posicionados podem trazer problemas à centragem da correia.

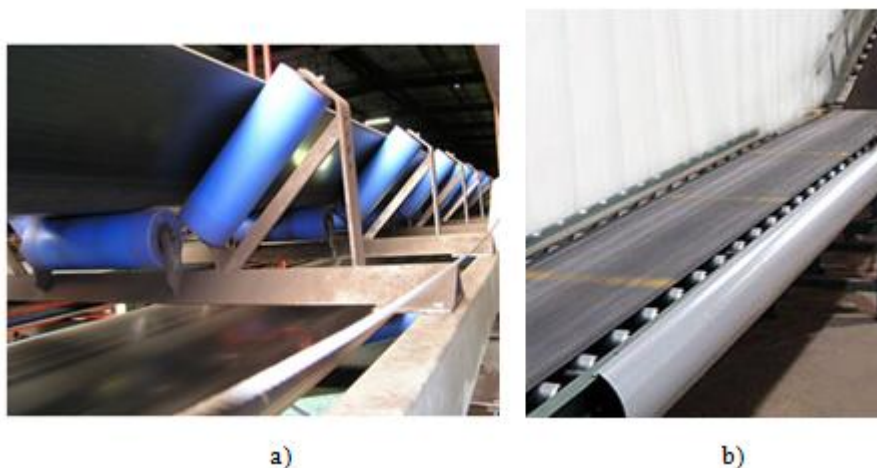


Figura 3.16. Diferentes tipo de suporte e condução da correia. a) Roletes de perfil concavo [45] b) Rolos de perfil plano [37]

3.4.2. Rolo/Rolete amortecedor de impacto

A descarga de material na superfície da correia gera impacto na correia. Estes impactos, quando intensos, danificam a cobertura da correia e enfraquecem a carga e, como tal, os rolos amortecedores de impacto são colocados no ponto de carregamento do transportador e têm como função absorver o choque devido ao impacto do material a ser carregado prevenindo um possível dano à correia no ponto de carregamento.

São, normalmente, constituídos de vários anéis de borracha montados sobre um tubo de aço e são montados com pequenos afastamentos entre os rolos.

3.4.3. Rolete de transição

A zona de transição ocorre em transportadores que utilizam um suporte côncavo para o transporte de material.

A mudança da disposição côncava para a disposição plana ou vice-versa, é chamada de transição. As zonas de transição são normalmente na chegada da correia às polias principais do transportador. A distância entre a linha central da polia do terminal para o primeiro rolete totalmente côncavo é chamada de distância de transição. Esta área representa mais risco potencial para a correia do que qualquer outra área do transportador. Na mudança de

uma correia plana para um perfil totalmente côncavo, a tensão nos bordos da correia é maior do que no centro, o que pode levar à falha da emenda nos bordos da correia [40].

A distância de transição (Fig.3.17), o espaçamento permitido para a mudança no retorno da correia, deve ser suficiente em cada polia terminal, caso contrário, os bordos da correia podem vir a sofrer alguns danos, sendo sujeitas a um aumento no alongamento à medida que a correia se move desde a polia motora ao primeiro conjunto.

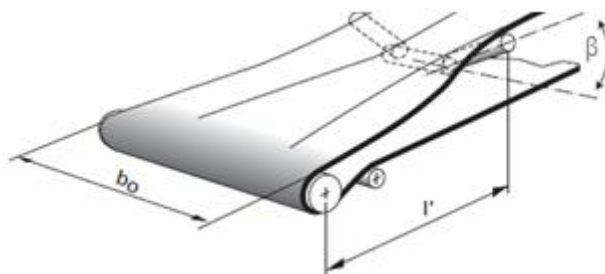


Figura 3.17. Distância adequada entre a polia e o último rolete de transição [19]

De acordo com [19], a distância de transição é calculada por :

$$l' = b_0 \times \text{factor } c \quad (3.2)$$

O *factor c* é um parâmetro interligado ao ângulo de concavidade, β , a que se encontram os rolos superiores do conjunto.

Tabela 3.6. Valor do *factor c* consoante o ângulo de inclinação dos rolos [22]

β (graus,°)	15	20	30	40
<i>Factor c</i>	0.7	0.9	1.5	3

Os roletes de transição podem ser fabricados em ângulos intermédios específicos ou podem ser ajustáveis a diferentes posições. Nos transportadores de correia plana, os roletes de carga possuem ângulos de inclinação mais acentuados e à medida que a correia se aproxima da polia principal, estes roletes, são colocados numa angulação gradualmente menor para guiar e auxiliar a transição da correia, possibilitando a mudança no lado de retorno da correia para um perfil plano. É importante que o rolete mais próximo da polia principal seja instalado de modo a que o topo da polia principal e o topo do cilindro central do rolete estejam no mesmo plano.

3.4.4. Rolo/Rolete de retorno

Suportam o lado de retorno da correia, apresentando um espaçamento entre si maior que os rolos e roletes do lado de transporte, uma vez que o lado de retorno exerce menos força sobre os rolos. Estes rolos de retorno tanto podem possuir um dispositivo de ajuste do seu eixo para ajudar na centragem da correia como podem estar fixos à estrutura, servindo apenas de suporte (Fig. 3.18).



Figura 3.18. Rolo de retorno da correia plana [45]

3.4.5. Rolo/Rolete para centragem da correia

Em transportadores de correia plana onde se utilizam rolos e roletes de suporte de correia, para além do abaulamento da polia motora, a centragem da correia faz-se fundamentalmente nos rolos e roletes que conduzem a correia ao longo da instalação, inserindo dispositivos de centragem nos mesmos que permitem o ajuste deles consoante o movimento da correia.

Os rolos e roletes de auto centragem são colocados muitas vezes após o ponto de carregamento para evitar qualquer derrame de material. Estes dispositivos têm a capacidade de se ajustar no plano paralelo ao plano da correia dependendo do movimento da correia e posteriormente centrar a correia evitando consequências drásticas.

No suporte por rolos e roletes, o sistema mais básico de centragem é o ajustamento dos rolos, que apesar de não ser um método de centragem aconselhado, os rolos ajustados permitem a centragem da correia. Tal como nas polias, é aplicado um certo ângulo ao rolo, entre 2° e 4° [19], permitindo que o seu eixo de rotação não seja perpendicular com o eixo central da instalação. Devido a esse deslocamento e, seguindo um princípio básico da centragem da correia plana, a correia vai-se deslocar para o lado do rolo que contacta primeiro, ou para o lado que apresenta menor tensão (Fig.3.19).

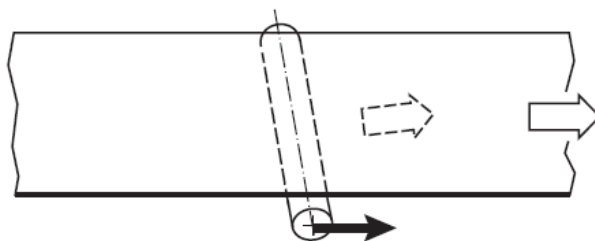


Figura 3.19. Mecanismo de desvio angular de um rolo de suporte [19]

No caso dos roletes, esta inclinação é feita nos rolos cilíndricos dos extremos no sentido de movimento da correia. O atrito existente entre a correia e esses rolos gera uma força de centragem capaz de movimentar a correia de volta ao seu centro (Fig. 3.20).

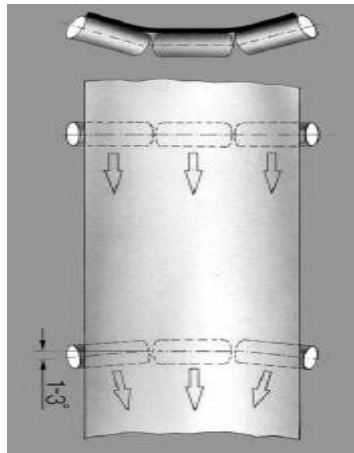


Figura 3.20. Inclinação dos rolos em direcção ao movimento da correia [22]

Estes sistemas de ajustamento dos rolos e roletes de suporte têm uma eficácia limitada porque aumentam o consumo de potência do transportador e podem levar ao desgaste do lado de contacto da correia e também dos rolos e roletes [40].

Os dispositivos de centragem mais utilizados nos rolos e roletes que conduzem a correia faz-se por conjuntos em que são montados rolos guia em braços curtos que perfazem um ângulo de 90 graus em relação aos bordos da correia e que se encontram imediatamente antes do rolo pivô (Fig. 3.21). Cada em cinco rolos devem dispor deste sistema de auto-centragem, onde é dotado de um sistema giratório acionado pela correia transportadora de modo a controlar o deslocamento lateral da mesma. Este sistema giratório possui um pivô central que está fixo no centro da base do rolete e que por vezes é fixo à estrutura do transportador.



Figura 3.21. Roleta de auto centragem da correia montando com rolos-guia [40][33]

O movimento da correia contra cada rolo guia produz o movimento giratório do conjunto que, forma um certo ângulo em relação à superfície da correia, e, conseqüentemente cria uma força capaz de movimentar a correia de volta ao seu centro. Novamente, entra o princípio básico em que a correia move-se sempre em direcção ao lado que ela toca primeiro.

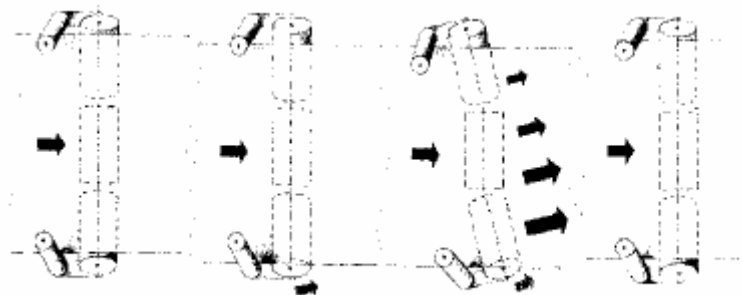


Figura 3.22. Actuação do rolete de auto-centragem quando o descentramento da correia [21]

Na figura 3.22, está representado uma estação de 4 roletes, onde é demonstrado que à medida que a correia se movimenta para um lado, a correia chega a um ponto em que toca no rolo lateral fazendo com que o 3º rolete da figura se movimente giratoriamente desviando a correia para o lado oposto possibilitando assim a sua centragem.

Tal como se sucede com os roletes de suporte, os rolos pivô unitários dispõem de rolos guia perpendiculares ao plano da correia e quando o bordo da correia toca num rolo guia lateral, o rolo pivô é inclinado no plano horizontal para posterior centragem da correia (Fig. 3.23).

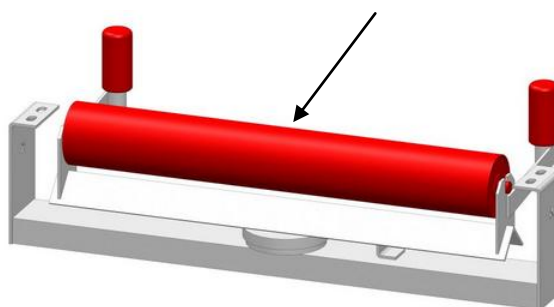


Figura 3.23. Rolo de auto-centragem da correia [33]

Porém, existem algumas desvantagens no uso destes dispositivos de centragem, tais como a possível corrosão do pivô central ou a sua imobilização devido à acumulação de material quando a manutenção não é eficiente. Devido à acumulação de material, o rolo pivô prende não reagindo aos movimentos laterais da correia até que esta se movimente a uma distância suficientemente grande e, conseqüentemente, o rolo pivô direccionará demasiado a correia, tornando-se num sistema de centragem instável. Para impedir estes movimentos erráticos, estes dispositivos são frequentemente amarrados à estrutura [40] (Fig.3.21).

Existem outros dispositivos que operam de forma semelhante aos dispositivos anteriores, possuindo também mecanismos capazes de movimentar a correia de volta ao seu centro mas, ao contrário dos dispositivos que possuem rolos guia, estes são incorporados uma

mola de torção no pivô, tendo esta, a vantagem de manter o rolo sensível ao movimento da correia (Fig.3.24). Estes dispositivos são equipados com rolos sensíveis instalados em braços longos, capazes de proporcionar mais elevação, menos atraso na reacção ao movimento da correia e, permitem que não haja pressão exercida sobre a correia devido ao facto de estes rolos estarem constantemente em contacto com a correia. Devido à constante acção de movimento do rolo de centragem, a acumulação de material nestes dispositivos não se verifica ao ponto de poder imobilizar o dispositivo de centragem [40].



Figura 3.24. Dispositivo de centragem operado com uma mola de torção [40]

A desvantagem neste tipo de dispositivos é o facto de não poder ser inserido em roletes angulados [40]. Devido ao constante contacto do rolo com a correia, este dispositivo de centragem está mais susceptível a trocas mais frequentes em comparação com os dispositivos de centragem com rolos guia.

Todos estes dispositivos de centragem devem estar localizados em algumas zonas chave do transportador. É importante que um dispositivo de centragem esteja situado logo após o carregamento do transportador, pois caso o carregamento seja mal efectuado, o descentramento da correia pode ocorrer. É importante a colocação destes dispositivos de centragem em zonas com maior tendência de descentramento e em que as condições não sejam favoráveis ao movimento da correia.

Para além da colocação destes dispositivos de centragem depois da zona de carga, estes devem ser também colocados logo antes de a correia entrar na polia antes da carga, para garantir que ela esteja centrada na polia e na zona de carga e, antes da polia de descarga, garantindo que a correia esteja centrada antes da descarga.

Estes dispositivos podem ser instalados em toda a extensão do transportador, especialmente para resolver qualquer problema de descentramento. Não devem ser colocados muito próximos uns dos outros, devido a uma possível influência que possam ter uns com os outros, resultando numa condução instável da correia.

3.4.5.1. Cálculo da força de centragem dos rolos de centragem

Os rolos de centragem exercem uma força perpendicular ao seu eixo de rotação sobre a correia transportadora. Esta força é transmitida pelo atrito existente entre o rolo e a correia, da carga sobre o eixo do rolo, e do ângulo de desvio a que estão sujeitos.

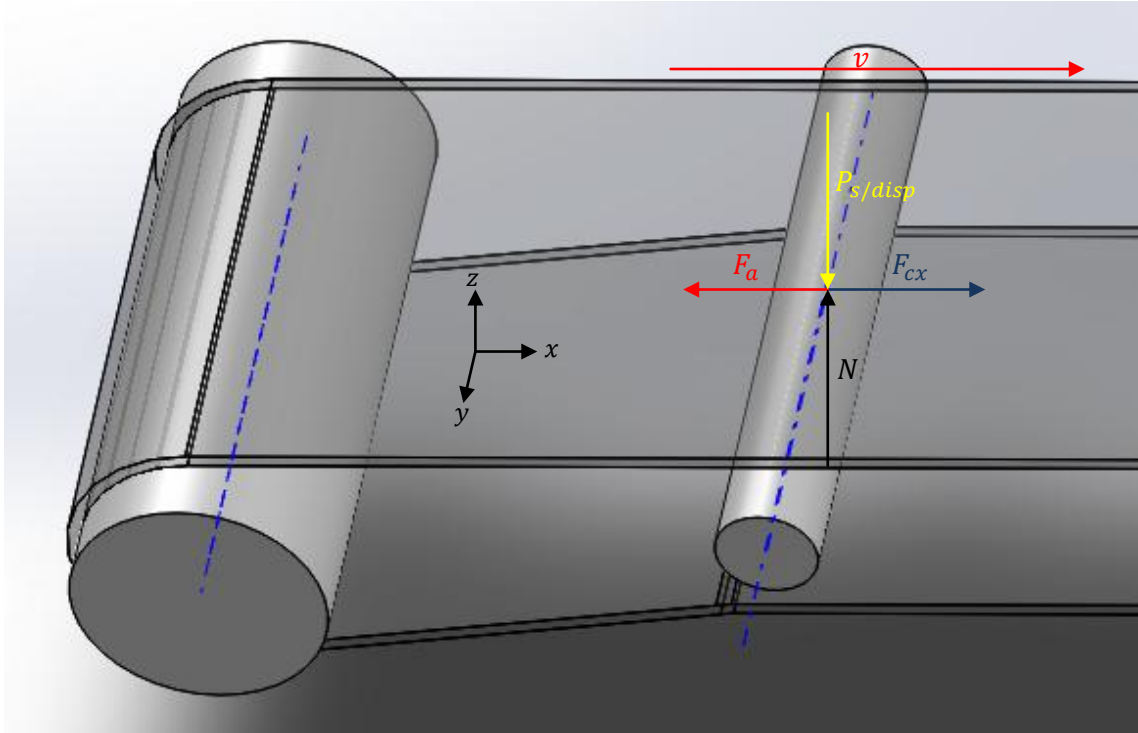


Figura 3.25. Dispositivo alinhado perpendicularmente com o eixo longitudinal da correia

No caso em que o rolo se encontra com o seu eixo perpendicular ao eixo longitudinal da correia (Fig. 3.25), com a sua velocidade periférica alinhada com a velocidade da correia e admitindo que a velocidade da correia é constante, as equações de equilíbrio são dadas por :

$$\begin{cases} \sum F_z = 0 \\ \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = P_{s/disp} \\ F_{cx} = F_a \\ F_{cy} = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = P_{s/disp} \\ F_{cx} = \mu \times N \\ F_{cy} = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

A força de atrito calculada pela equação 3.3, que é igual a F_{cx} , é a maior força que o rolo pode exercer à correia, que corresponde a uma situação em que o rolo se encontra imobilizado. Como o eixo do rolo está colocado perpendicularmente ao eixo longitudinal da correia, e como a velocidade periférica do rolo está alinhada com a velocidade da correia, aquando o contacto da correia com o rolo não vai provocar qualquer efeito transversal na correia transportadora, e portanto a força de centragem neste caso é nula, $F_{cy} = 0$.

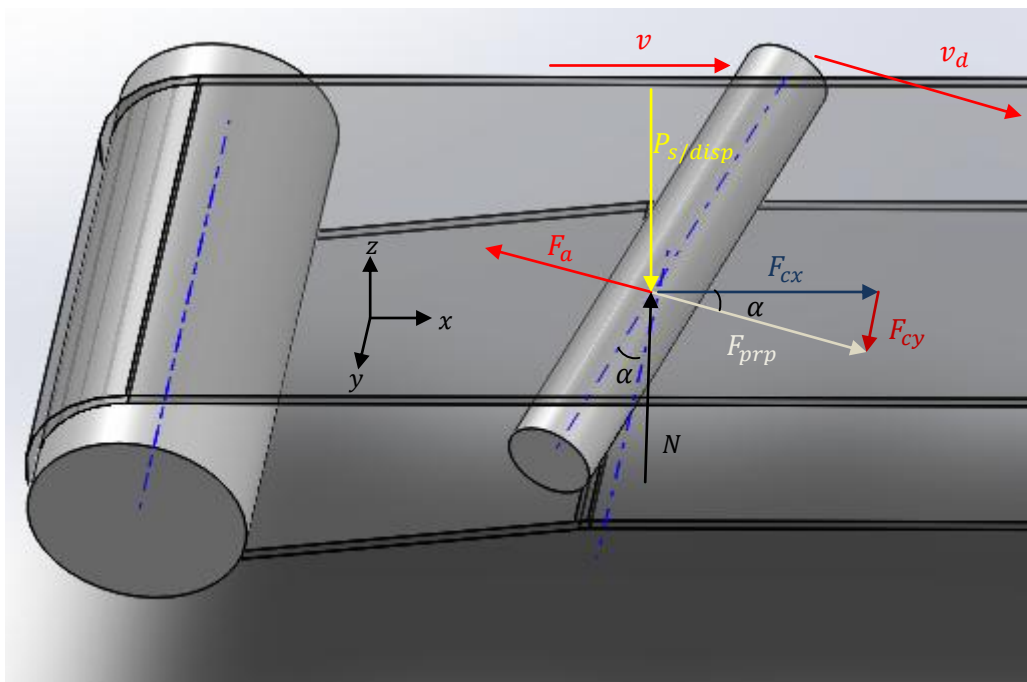


Figura 3.26. Deslocamento angular do dispositivo de centragem

No caso em que o rolo já se encontra com um certo desvio angular em relação ao primeiro caso (Fig. 3.26), vai originar o escorregamento da correia com o rolo, exercendo assim a força de centragem que conduzirá o movimento da correia na direcção pretendida. As equações de equilíbrio para este caso são calculadas por :

$$\begin{cases} \sum F_z = 0 \\ \sum F_x = 0 \\ \sum F_y = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = P_{s/disp} \\ F_{cx} = F_a \times \cos(\alpha) \\ F_{cy} = F_a \times \sin(\alpha) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} N = P_{s/disp} \\ F_{cx} = \mu \times N \times \cos(\alpha) \\ F_{cy} = \mu \times N \times \sin(\alpha) \end{cases} \quad (3.4)$$

Como é mostrado na figura 3.26, a velocidade periférica da superfície rotativa do rolo de apoio da correia possui uma componente longitudinal e uma componente transversal em relação ao eixo central da correia, originando uma força exercida pelo rolo de centragem sobre a correia, F_{prp} , com componentes segundo os eixos x e y. Como a superfície rotativa do rolo e a correia, no ponto de contacto não têm a mesma velocidade, obriga a correia a deslizar sobre o rolo, originando o escorregamento, e sendo a força que o rolo exerce sobre a correia maior que a força de atrito, passando o atrito estático a atrito dinâmico. Esta força de atrito, perpendicular ao eixo de rotação do rolo, origina o deslocamento lateral da correia. No entanto, a força responsável pela centragem da correia é a componente transversal, F_{cy} , da força paralela ao eixo de rotação do rolo. Esta força vai obrigar a correia a descrever um certo arco, aumentando assim a força de esticamento na correia, até se atingir uma situação de equilíbrio (Fig.3.27).

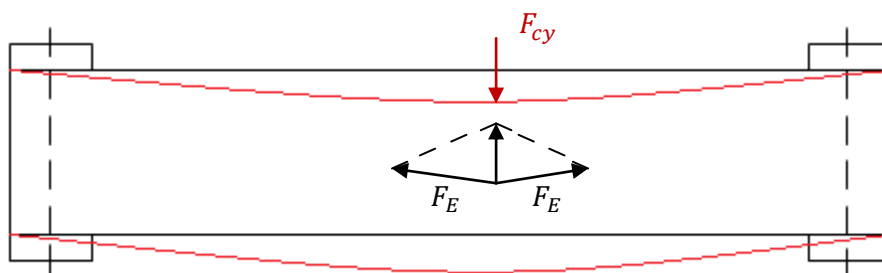


Figura 3.27. Deformação da correia quando lhe é imposta uma força transversal responsável pela centragem

A força que tende a centrar a correia é calculada pela equação 3.5 :

$$F_{cy} = \mu \times N \times \text{sen} (\alpha) \quad (3.5)$$

Uma correia plana convencional quando suportada por rolos não se comporta como um elemento totalmente tenso, e portanto, a força que o rolo tem que suportar é igual à carga num certo intervalo junto ao rolo, que corresponde ao comprimento do passo entre os rolos de suporte. O peso que o rolo tem de suportar consiste no peso da correia e da carga suportada sobre a correia, e da tensão a que está sujeita nesse ponto, pois a correia trabalha como uma catenária, ou seja, a correia descreve um conjunto de curvas planas semelhantes às que seriam geradas por uma corda suspensa pelas suas extremidades e sujeitas à ação da gravidade (Fig. 3.28).

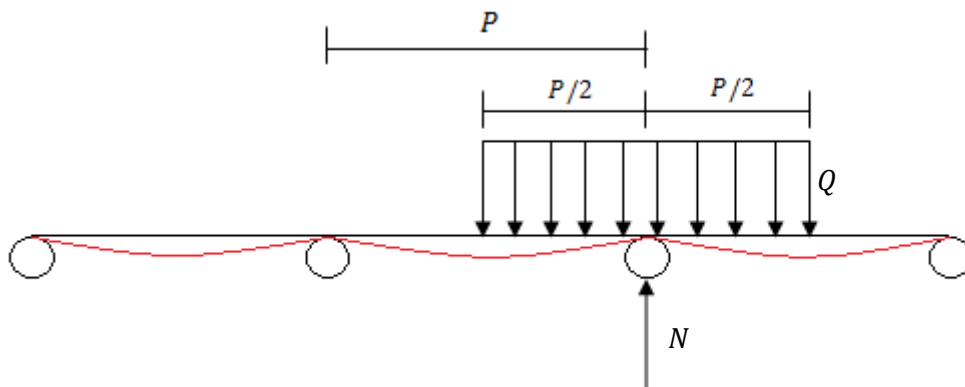


Figura 3.28. Força que o rolo exerce para suportar a correia e respectivo carregamento

Neste caso, como se admite que a correia só se comporta como uma catenária em pequenas distâncias, admite-se que a correia se comporta como um elemento infinito em que o peso que o rolo tem que suportar corresponde ao peso da correia e da carga no ponto de contacto da correia com o rolo, devido ao esticamento da correia ao longo do transportador. Admitindo que força do peso do conjunto da correia e da carga a ser transportada no ponto de contacto com o rolo é de 600N, e o valor do coeficiente de atrito de 0.35 (aço/borracha em tecido), o cálculo da força de centragem é dado pela equação 3.5 e é apresentado na tabela 3.7 para cada ângulo de desvio do dispositivo.

Tabela 3.7. Cálculo da força de centragem do rolo de centragem

	$\alpha = 0,5^\circ$	$\alpha = 1^\circ$	$\alpha = 2^\circ$	$\alpha = 2,5^\circ$	$\alpha = 3^\circ$	$\alpha = 4^\circ$
Força responsável pela centragem da correia, F_{cy} (N)	1.83	3.67	7.33	9.16	11	14.64

Na tabela 3.7 são mostrados os valores da força de centragem para o caso acima descrito, em função do ângulo de desvio do rolo em relação ao eixo longitudinal do eixo da correia.

Atribuindo valores, pode-se verificar pela tabela 3.7 que a força de centragem vai aumentando com o aumento do ângulo de desvio do ângulo, onde a carga que o rolo está sujeito e a velocidade são constantes.

No caso de a correia se comportar como uma catenária, no cálculo da força de centragem é necessário considerar, também, a tensão da correia que está sujeita a secção em que se encontra o dispositivo. Quanto maior o esticamento e menor a distância entre as polias das extremidades, menor será a força de centragem que cada rolo exerce e menor será o efeito do dispositivo na condução da correia.

3.4.6. Rolos-guia laterais

Estes rolos dispostos verticalmente em relação aos bordos da correia são fixos e sua função é guiar a correia, principalmente na entrada das polias, evitando que a mesma seja descentrada contra a estrutura do transportador. São muito usados por uma questão de protecção da estrutura do transportador e da correia em casos extremos de descentramento. Estes rolos-guia só devem ser usados como último recurso e não devem ser usados como um método para compensar os movimentos de descentramento da correia porque provocam o desgaste dos bordos da correia levando à sua destruição.

São mais eficazes em correias curtas e de baixa tensão, onde a correia pode ser forçada a manter a posição através da força que o rolo exerce sobre a correia.

3.5. Base de suporte

Para além do suporte de rolos e roletes, existe também o suporte onde a correia desliza sobre uma superfície de metal lisa. Ao contrário dos rolos de suporte, esta base de suporte apresenta um maior coeficiente de atrito, e consequentemente maior potência necessária para fazer movimentar a correia. No entanto, é possível influenciar favoravelmente o coeficiente de atrito, o ruído e a vida da correia com uma correcta selecção do material da correia e da base de suporte [19].

A vantagem na utilização deste tipo de suporte está na estabilidade com que os materiais podem ser transportados, não interferindo com a condução da correia, apesar de não

ser aconselhada a sua utilização para transporte de materiais muito pesados e para transportes a granel. É dos tipos de transporte mais comuns para pequenos itens porque mantém o espaçamento entre os produtos e a sua orientação.

A base de suporte necessita de estar alinhada em relação à direcção da correia e deve estar nivelada para que não haja qualquer inclinação entre o suporte e a correia, porque o atrito de deslizamento existente entre eles exerce um efeito guiado à correia e caso não esteja nivelada, a correia é descentrada em relação à instalação. Ao contrário do suporte por rolos e roletes, a base de suporte não gera qualquer efeito na centragem da correia. Porém, apesar de não ser um sistema de centragem, esta pode auxiliar a centragem da correia, utilizando-se guias em forma de V (Fig. 3.29).

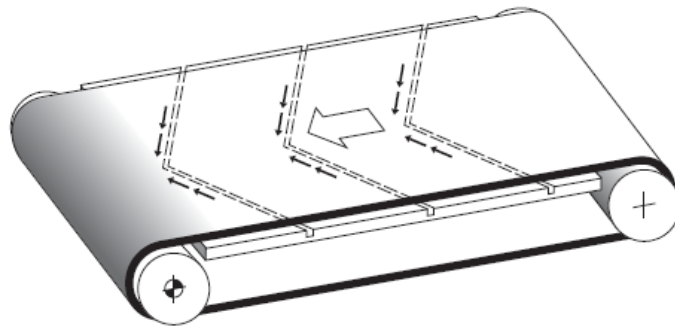


Figura 3.29. Guias em “V” inseridas na cama de suporte [19]

No caso de o transportador apresentar uma base de suporte em vez de rolos de suporte, a centragem da correia é realizada apenas pelo lado de retorno e pelas polias principais do transportador.

4. Causas que levam aos descentramento da correia plana e respectivas medidas a serem tomadas

Existem muitos problemas que advêm dos transportadores por correia plana e neste documento apenas são listados os problemas e as causas que levam ao descentramento da correia em toda a estrutura da instalação.

Existem inúmeras causas que podem originar o descentramento das correias transportadoras. Qualquer força externa anormal ao transportador vai afectar a centragem da correia. Felizmente muitas destas forças são desprezáveis. Porém, existem outras variáveis que contribuem bastante para o descentramento da correia, tais como o desalinhamento dos rolos e polias, a sujidade acumulada na instalação, carga mal transportada, forças de tracção inadequadas, a estrutura desalinhada, entre outras. Estes factores, por vezes, ocorrem em conjunto e podem complicar bastante o processo de correcção. Uma vez identificada, cada causa tem solução. O processo mais difícil está na identificação da causa que está a provocar o descentramento da correia.

Neste capítulo estuda-se os problemas de descentramento de correia plana e as suas respectivas causas. Este capítulo é de grande importância e uma mais-valia para a indústria de manutenção de transportadores de correia plana e seus componentes.

Na tabela 4.1, estão representados os problemas e as causas que levam ao descentramento da correia numa instalação transportadora [21],[30] e apresentam-se de seguida as soluções e prevenções a ter em conta.

Tabela 4.1. Problemas e causas no descentramento da correia plana

Problemas	Causas
Descentramento da correia junto à polia de retorno	2, 4, 6, 7, 9, 12
Descentramento da correia para um certo lado em toda a extensão do transportador	3, 7, 8, 9, 12, 14, 16
Descentramento de uma determinada secção da correia para um certo lado em toda a extensão do transportador	1, 15
Descentramento da correia junto à polia motora	2, 7, 8, 12, 13
Escorregamento da correia	4, 6, 10, 12, 13
Escorregamento da correia no arranque do sistema	4, 5, 10, 13
Descentramento da correia para um lado num dado ponto	7, 8, 12, 16
Instabilidade da correia	9, 11, 14

1. Arqueamento da correia.

Se existirem forças de tracção não balanceadas na correia plana transportadora, a correia pode assumir uma forma de “banana”.

Solução:

- Traccionar a correia de maneira adequada;
- Instalar a correia de maneira correcta na instalação, a correia não deve estar desnivelada ao longo da instalação e não deve possuir qualquer desvio ao longo do seu comprimento.

2. Correia desalinhada na aproximação a uma polia.

Solução:

- Verificar o alinhamento da polia;
- Verificar o alinhamento dos rolos ou roletes próximos à polia.

3. Correia tensa em apenas num só lado.

Solução:

- Colocar esticadores de correia adequados, que fornecem forças de tracção ideais para o bom funcionamento da instalação

4. Contrapeso demasiado leve.

Solução:

- Recalcular e ajustar o esticador de correia.

5. Transporte com uma correia subdimensionada.

Solução:

- Recalcular as tensões máximas e seleccionar a correia correcta para o tipo de transporte a ser realizado.

6. Rolos de suporte presos ou sujos.

Rolos presos no transportador fornecem forças de contacto assimétricas ao eixo central da correia.

Solução:

- Limpar, lubrificar e melhorar a manutenção dos rolos responsáveis pela condução da correia no transportador.

7. Rolos de suporte ou polias não-alinhados perpendicularmente com o eixo central do transportador.

Solução:

- Realinhar os rolos.

8. Rolos de suporte colocados indevidamente.

Solução:

- Reposicionar os rolos de suporte ou inserir mais rolos de suporte à instalação devidamente separados.

9. Carregamento inadequado

Quando o carregamento do transportador é mal efectuado, pode ocorrer o derrame de material causando o descentramento da correia.

Solução:

- O carregamento deve ser feito na direcção do movimento da correia e à sua velocidade;
- O escoamento do material não pode ser realizado descontroladamente, é importante controlar o escoamento de material.

10. Tracção insuficiente da correia no abraçamento da polia, causando o escorregamento.

Solução:

- Aumentar o ângulo de abraçamento através da polia de abraçamento;
- Revestir a polia motora com um material de borracha, por exemplo, aumentando assim o coeficiente de atrito. Em condições húmidas utilizar estrias como revestimento, servindo estas como método de prevenção caso ocorra alguma força transversal na correia.

11. Correia sobredimensionada

A correia é demasiado rígida para se movimentar apropriadamente sobre o diâmetro da polia.

Solução:

- Substituir a correia por uma correia adequada ao transporte;
- Utilizar um maior diâmetro de polia.

12. Acumulação de material

Esta acumulação é causada pelo derrame de material nos pontos de transferência entre transportadores e, ou pela ineficiência dos sistemas de limpeza do transportador.

Solução:

- Remover o material acumulado e controlar o escoamento de material;
- Instalar dispositivos de limpeza.

13. Desgaste do revestimento da polia.

O efeito de centragem pode ser melhorado com uma revestimento de borracha abrasiva ou material sintético aumentando o atrito existente entre a polia e a correia e caso este esteja desgastado diminui o coeficiente de atrito entre a polia e a correia.

Solução:

- Substituir o revestimento desgastado.

14. Carregamento na parte lateral do transportador

Solução:

- O carregamento tem de ser efectuado centrado na correia e em direcção ao movimento da correia.

15. Desgaste ou dano dos bordos da correia

Solução:

- Reparar os bordos da correia. Se o bordo estiver demasiado danificado substituir a secção desgastada.

16. Estrutura de suporte desalinhada e transportador desalinhado

Solução:

- Verificar o nivelamento e o alinhamento da estrutura e repara-la caso seja necessário.

Como demonstrado pela tabela 4.1 e pelas causas de descentramento de cada tipo de problema, pode-se verificar que, em muitos casos, a causa do descentramento da correia pode ser determinada pela forma como ela se comporta em determinadas zonas do transportador.

Quando todas as partes da correia se movimentam para fora do centro num determinado ponto do transportador, a causa está provavelmente ligada ao alinhamento e nivelamento da estrutura do transportador, dos seus condutores e/ou das polias colocadas nessa zona. Se uma ou mais secções da correia estão descentradas em toda a extensão do transportador, a causa mais provável está ligada a problemas na correia, e, se a correia se descentra aquando o carregamento do material, a causa do descentramento está ligada ao carregamento descentrado e inadequado de material.

Quando existe o descentramento da correia numa qualquer zona da correia, esse descentramento é mais afectado pelos condutores onde a correia já passou do que pelos condutores desse determinado ponto. Significa isto que, em qualquer ponto onde o descentramento seja visível, a causa está num ponto por onde a correia já passou.

Para além das causas referidas na tabela 4.1, quando o transportador não se encontra em espaços interiores, o descentramento da correia pode ser causado devido a condições

ambientais. Ventos fortes num certo lado do transportador proporcionam força suficiente para movimentar a correia para fora do centro da instalação. Quanto à chuva, gelo ou neve, ou mesmo o aquecimento do sol sobre um lado da correia transportadora, causam também uma diferença na superfície de atrito dos condutores da correia podendo levar ao escorregamento entre eles e a correia, causando o descentramento do transportador, podendo solucionar-se com uma colocação de uma cobertura sobre o mesmo [40].

5. Transportadores de correia plana com diferentes geometrias e os seus sistemas de centragem

A escolha do tipo de transportador a ser utilizado numa determinada instalação é influenciada por vários factores, tais como, o tipo de material a ser transportado, dado que é importante ter em consideração o tamanho do material, o tipo de operação a ser efectuado com o transportador, salientando o perfil do transportador, definindo, por exemplo a distância entre as polias principais e também a altura de elevação ou declive, e as condições físicas que rodeiam a instalação. Estes factores desempenham um papel importante na determinação da espécie de transportador a ser usado.

Como referido no ponto 3.4.5, os sistemas de centragem das correias transportadores convencionais faz-se essencialmente pelo abaulamento das polias e também pelos rolos e roletes que conduzem a correia no lado de transporte e de retorno da instalação mas por vezes, estes sistemas de centragem diferem de transportador para transportador, tendo mesmo cada tipo de transportador o sistema de centragem adequado ao seu tipo.

5.1. Transportadores curvos

Este tipo de transportadores, no geral, são usados para mudar a direcção da carga de transporte. Em transportadores de curva convencionais, ocorrem fortes forças transversais que fazem com que a correia seja desviada em direcção ao ponto central da curva. Para compensar tais forças, a condução da correia neste tipo de transportadores é efectuado de uma maneira diferente dos mecanismos de centragem já falados anteriormente. A centragem e a condução deste tipo de transportador pode ser efectuado de várias maneiras diferentes.

Uma delas é através de conjuntos de dois rolos guia colocados com o seu eixo perpendicular ao plano da correia e devidamente separados ao longo de toda a curva junto aos bordos da correia, anulando as forças transversais e mantendo as forças de tracção ao longo do transportador prevenindo o movimento centrípeto da correia. A desvantagem deste sistema de centragem é que exige uma correia de alta precisão e fabricação com furos precisos ao longo da parte lateral da correia [19]. Este sistema gera algum ruído devido ao batimento de entrada e saída das guias.

Outro sistema de centragem realizado neste transportador é feito por meio de correntes guia (Fig.5.1). Estas são colocadas num sistema giratório em torno da curva do transportador, ligadas por molas aos orifícios situados nos bordos da correia.

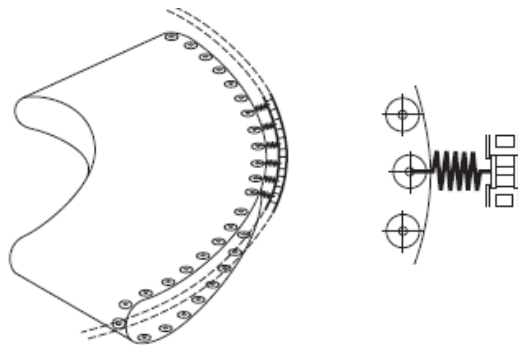


Figura 5.1. Condução da correia plana por correntes-guia [19]

Para facilitar um entrosamento adequado entre a corrente e a correia transportadora, a corrente deve movimentar-se sempre seguindo o caminho da correia transportadora à mesma velocidade em todos os pontos do transportador. Como a condução da correia transportadora faz-se por meio de correntes não há necessidade de haver transmissão de potência por meio de atrito na polia motora, resultando em tensões na correia muito baixas [19]. A curvatura do sistema da corrente necessita de ser orientada semelhantemente à curvatura da correia transportadora. No entanto, para que as correntes guia sigam a mesma curvatura que a correia transportadora, estas necessitam de se flectir horizontalmente ao longo do seu comprimento, transversalmente à sua direcção de articulação, o que torna uma desvantagem para este tipo de centragem porque a maioria das correntes não têm essa capacidade de flexão. Porém, existem correias flexíveis especiais com mais capacidade de se flectir transversalmente, mas o seu custo é mais elevado que o das correias convencionais [43].

Outro sistema de centragem da correia consiste na colocação de um perfil, normalmente de plástico, costurado nos bordos da correia. Neste caso, o perfil fica preso entre em conjuntos de dois rolos ao longo da curva que garantem um forte efeito guiado sobre a correia (Fig. 5.2). Estes rolos inclinados permitem o bloqueamento do perfil impedindo a movimentação lateral da correia permitindo assim um movimento preciso e uniforme da correia, mesmo a altas velocidades. A correia pode ser substituída muito rapidamente, reduzindo-se significativamente o tempo [19].



Figura 5.2. Rolos inclinados permitem o bloqueamento do perfil [34]

Para que este sistema seja eficaz, o perfil tem que estar posicionado de um modo extremamente preciso entre os rolos. A desvantagem deste mecanismo cinge-se ao alto custo de fabricação da correia e à elevada energia perdida pela flexibilidade do perfil quando este está preso entre os rolos [19].

Neste tipo de transportadores as polias podem também ser utilizadas na centragem da correia, tal como nos transportadores convencionais. Porém, o uso destas, neste tipo de transportador apresenta algumas desvantagens. Como referido no capítulo 2, a correia necessita de estar sobre forças de tracção que permitem que a correia se movimente através da acção da força de atrito provocada entre as polias e a correia. No entanto, para que a correia esteja tracionada ao longo da sua curvatura, a correia precisa de ser construída com tolerâncias limitadas, o que se torna difícil e com um custo elevado, e leva a que este seja um método indesejável [19]. Por vezes, é colocado um revestimento de borracha na polia motora, aumentando por sua vez o coeficiente de atrito, e que, consequentemente, ajuda na condução da correia.

Devido à variação das forças de tracção ao longo da curva, que resulta em diferentes velocidades periféricas em cada ponto da polia, e a fim de evitar o escorregamento da correia, são muito utilizadas as polias em forma cónica, que, como referido no ponto 2.3, a correia plana desloca-se para o lado de menor tensão, ou seja, para o lado de maior diâmetro da polia, evitando o deslocamento para o lado de menor raio, e posterior descentramento (Fig. 5.3).



Figura 5.3. Utilização de uma polia cónica no transportador curvo [36]

5.2. Transportadores inclinados e declinados

Os transportadores inclinados possuem uma parte da correia que se estende com uma certa inclinação em relação à horizontal de modo a permitir a elevação dos materiais a serem transportados.

Quando o transporte de material se faz num sentido ascendente, é importante que se efectue no sentido da polia motora e, caso o transporte seja feito no sentido descendente, é importante que a correia se movimente no sentido da polia movida. Neste sentido, é sempre aconselhável que a polia motora se encontre no topo da instalação [19]. Caso o transportador

seja reversível, a polia motora é colocada no centro do transportador, favorecendo assim o transporte de material para ambos os lados do transportador.

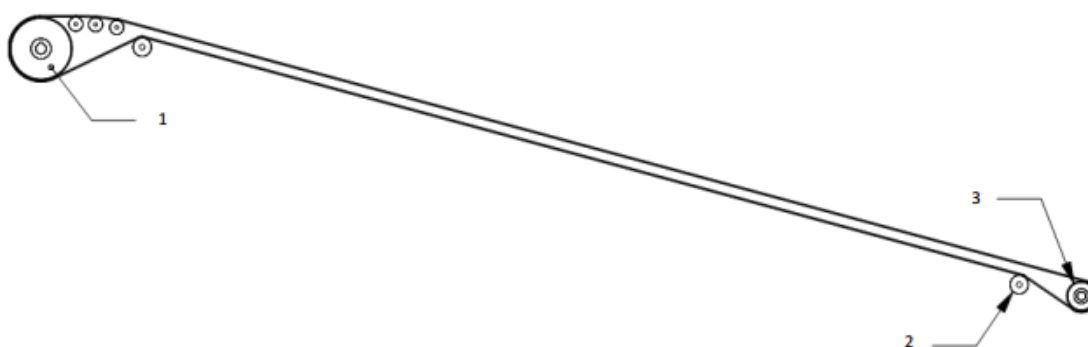


Figura 5.4. Transportador inclinado [18]

Nos transportadores inclinados, como se pode observar na figura 5.4, a condução e centragem é fornecida pelo abaulamento da polia motora e como referido no ponto 3.2.1, por vezes o abaulamento da polia de retorno é necessário, que, neste caso, funciona também como esticador de correia ajustando assim as forças de tracção às necessidades de transporte. As polias de abraçamento (2), aumentam o ângulo de abraçamento das polias principais, e sendo elas ajustáveis exercem a força necessária à correia para que esta se movimente para o centro antes de abraçar a polia.

A inclinação destes transportadores, por vezes, está principalmente influenciada pelo peso e superfície dos materiais bem como o seu centro de gravidade, e também por outros factores, tais como, as condições de operação, como por exemplo, a velocidade e vibrações existentes na instalação e factores ambientais, já referidos anteriormente, tais como a humidade e a temperatura. Para prevenir que haja material a derramar na instalação, que pode provocar consequências drásticas, estes não devem ter o seu centro de gravidade muito elevado em relação à sua largura.

Estes transportadores são também muito utilizados para fazer a ligação entre duas estações de trabalho, como é o caso da instalação em “Z” (Fig. 5.5).



Figura 5.5. Transportador em “Z” [35]

Tal como nos transportadores inclinados convencionais, a condução é usualmente feita por parte da polia motora que se encontra na parte superior do transportador. A centragem deste tipo de transportador faz-se também por polias abauladas. No entanto estes transportadores possuem algumas desvantagens operacionais e estruturais. Particularmente, na ligação entre a parte inclinada e a parte horizontal da correia, chamado ponto de transição, onde a correia é esticada pelo lado horizontal e inclinado, resulta em elevadas tensões na correia e, portanto, é necessário que haja uma estrutura complexa ao longo da curva, a fim de manter a desejada curvatura ao alcance da correia superior e inferior.

No ponto de transição nos transportadores inclinados, é colocado um conjunto de rolos alinhados entre si e com os seus eixos perpendiculares ao movimento da correia permitindo a curvatura do transportador [19].

Para além destes rolos no ponto de transição, por vezes, são utilizadas guias que desviam os bordos da correia de um possível descentramento, mas devido à elevada tensão que a correia está sujeita nesse ponto, estas não podem ser mantidas. A utilização destas guias no topo do transportador é, no entanto, indesejável, devido ao desgaste que causam às arestas da correia.

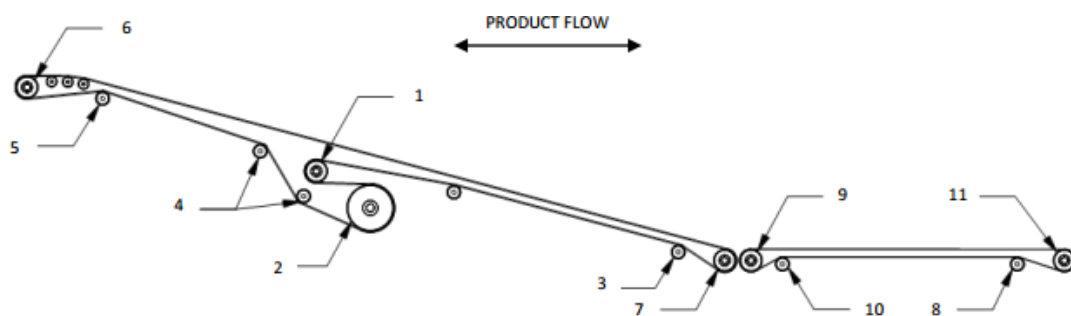


Figura 5.6. Alternativa ao transportador em "Z" [18]

Dado que estes transportadores possuem partes horizontais e inclinadas, por vezes são utilizados dois transportadores num único transportador (Fig. 5.6), que acabam por ter o mesmo efeito. É utilizado um transportador horizontal imediatamente antes do transportador inclinado que tanto pode funcionar como transportador de alimentação como transportador de descarga, uma vez que o transportador inclinado da figura 5.6 funciona como um transportador reversível, onde a polia motora se encontra no centro do transportador inclinado.

No caso de o transportador trabalhar de forma inclinada e se a correia se descentrar, as polias imediatamente antes da polia motora (2) são ajustadas para que a correia se centre na polia motora, possibilitando que a correia chegue centrada à polia (7) e caso isso não se verifique, a polia de abraçamento (3) é ajustada, direccionando a correia de volta ao centro para que esta abrace de uma forma correcta a polia (7). O ajuste das polias é realizado sucessivamente ao longo do transportador consoante as áreas de descentramento da correia. A polia (1) neste caso funciona como esticador da correia.

No caso de este trabalhar como transportador declinado, e caso haja descentramento da correia na polia motora, a polia (1) vai trabalhar como polia de abraçamento onde é possível o seu ajuste direccionando a correia de volta ao centro, e tal como no caso do transporte inclinado, se a correia se apresentar descentrada junto à polia (6), a polia de abraçamento (5) é ajustada de forma a centrá-la.

No transportador horizontal, as polias (8,10) servem de ajuste das polias (11,9), respectivamente, e a polia (11) funciona como esticador de correia. Caso este transporte seja utilizado como transporte de descarga, o deslocamento angular da polia (9) segundo a horizontal, conduzindo a correia para o lado de menor tensão evitando o descentramento da correia, pode ser necessária caso a correia se apresente descentrada aquando o abraçamento dessa polia, e caso o transporte funcione como transporte de alimentação, a polia (11) tem a mesma função que a polia (9) na descarga [18].

5.3. Transportadores de curta distância

Como referido no capítulo 2, numa instalação transportadora, a distância entre as polias deve ser suficientemente longa para que a área de abraçamento entre a polia e a correia seja suficiente para proporcionar, através da polia, a força de tracção necessária à correia para que esta se movimente. Neste caso, ambas as polias apresentam uma distância entre os seus centros demasiado curta, o que torna extremamente difícil a sua centragem. Uma correia larga não consegue trabalhar por si só entre curtas distâncias devido ao facto do comprimento dos lados da correia não se manter o mesmo e haver sempre a tendência do arqueamento da correia, que pode levar a que a correia salte da instalação.

Devido a esse facto, os sistemas de centragem deste tipo de transportador têm vindo a ser desenvolvidos para contrariar esta situação. Estes mecanismos têm o objectivo de aumentar o ângulo de abraçamento das polias principais e adequar as forças de tracção necessárias à transmissão de potência do transportador.

Como mencionado no ponto 3.3, os condutores em V proporcionam um efeito de centragem à correia, podendo inserir-se neste tipo de transportador como um sistema de centragem, onde apresentam um V tradicional, inclinados no lado de retorno com ângulos entre os 5 ° e 10 ° [19].

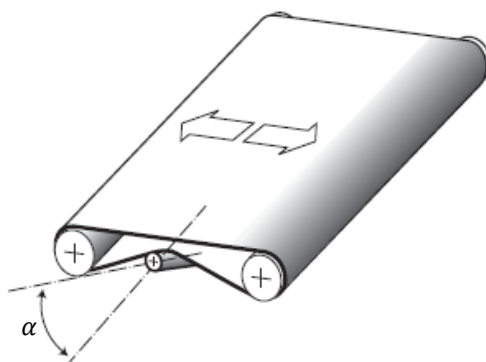


Figura 5.7. Conductor em V [19]

Outro método capaz de conseguir manter as forças de tracção na correia, é preencher toda a sua largura com polias capazes de traccionar a correia, impedindo assim o descentramento da mesma. Neste caso, a condução da correia pode ser efectuada a partir do eixo central da instalação, ou seja, a polia motora é colocada no eixo central da instalação no lado de retorno da correia, auxiliada por duas polias de desvio que proporcionam ao sistema a tracção necessária à transmissão de potência.

Reunindo todas as condições necessárias e respeitando os princípios de funcionamento e centragem de correias planas, a centragem neste tipo de método é eficaz, apenas se a polia motora apresentar uma forma abaulada.

Quando, em casos em que a sua aplicação não requer uma correia larga mas sim uma instalação larga, uma boa opção a estas correias, é a utilização de correias de pequena largura movimentadas paralelamente entre si na mesma instalação (Fig.5.8). Cada correia é tracionada e conduzida separadamente [19].

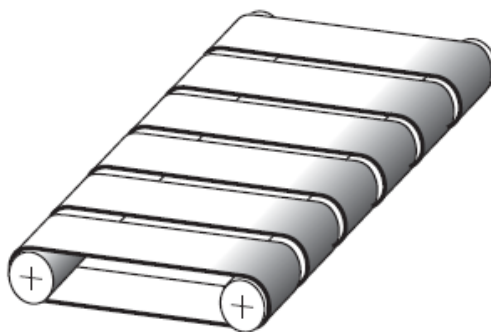


Figura 5.8. Correias paralelas conduzidas por duas polias [19]

Estas correias apresentam algumas vantagens relativamente ao uso de apenas uma correia mais larga [19]:

- A acumulação de material não acontece, dado que, a sujidade, os detritos, podem vir a cair entre as correias, sendo separados do transporte de material;
- Sob condições chuvosas, o excesso de água pode escoar entre as correias;
- São mais fáceis de centrar quando comparadas com uma correia mais larga.

5.4. Transportadores de transferência

A aplicação destes transportadores faz-se frequentemente nas linhas de transporte dos aeroportos com as bagagens.

Têm a capacidade de fazer a junção com um determinado ângulo entre linhas de transporte, o qual proporciona às instalações uma possível distribuição de materiais entre cada linha de transporte e através do auxílio de um desviador, poder proporcionar o desvio de determinados objectos para outra linha de transporte.

Para facilitar a junção entre as linhas de transporte, as correias apresentam-se abraçadas, na extremidade do transportador, a uma *Nosebar* que está colocada com um certo

ângulo, de 30° ou 45° . O uso desta permite lidar com uma grande variedade de produtos e permite obter um melhor ponto de transferência facilitando também a condução da correia.

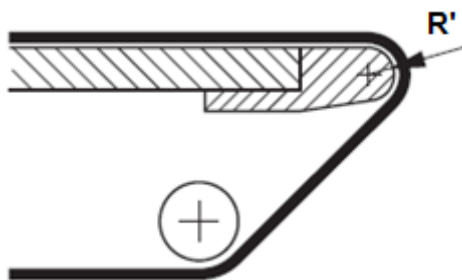


Figura 5.9. *Nosebar* [19]

Porém, as *Nosebar* podem levar a um alongamento da correia. Isto pode ser remediado colocando um esticador no lado de menor tensão da correia, que proporcionará forças de tracção constantes à correia [21]. Conforme demonstra a figura 5.9, é utilizado uma polia de desvio colocada imediatamente a seguir à *Nosebar* que permite auxiliar a condução da correia.

Nestes transportadores, devido à sua complexidade, a centragem da correia é extremamente difícil de efectuar. Como demonstrado na figura 5.10, a correia, aquando o abraçamento na *Nosebar* (2), reverte os seus lados sendo auxiliada por uma polia de abraçamento (1) antes de abraçar a polia motora. Na outra extremidade será revertida novamente para que o lado de transporte seja exactamente o mesmo.

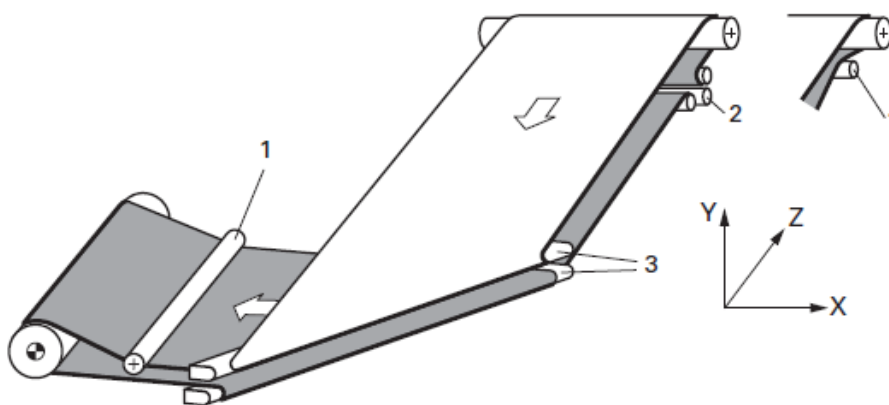


Figura 5.10. Transportador de transferência e seus componentes [19]

O mecanismo de abaulamento das polias principais é importante mas neste tipo de transportadores com uma certa angulação, não é suficiente para centrar a correia, o que leva à colocação de polias de abraçamento (1) junto às polias principais, as quais são ajustáveis, permitindo não só o aumento do ângulo de abraçamento mas também auxiliar a centragem da correia. Colocando estas polias de abraçamento, o deslocamento angular das polias para posterior centragem não é necessária [19].

Como referido anteriormente, devido ao alongamento da correia com a utilização da *nosebar* (3), é colocado um esticador de correia (2) no lado de menor tensão da correia que, neste caso, é imediatamente antes da polia de retorno.

Proporcionar uma velocidade mais lenta à instalação pode levar a uma melhor centragem, no qual as forças de tracção e a pressão exercida da correia sobre a *Nosebar* são reduzidas [19].

5.5. Transportadores telescópicos

Os transportadores telescópicos são dispositivos de transporte que têm a vantagem de variar a distância entre o ponto de carga ao ponto de descarga, de modo a que o carregamento e descarregamento de material sejam mais fáceis. São muito utilizados em centros de expedição e recolha de material, armazéns e outros locais em que seja necessário o transporte de material de camiões ou contentores. Além da capacidade de contracção e extensão, alguns transportadores telescópicos possuem a capacidade de inclinação, devido à altura de certos pontos de descarregamento ou carregamento.

O objectivo principal no uso destes transportadores é a redução de tempo e mão-de-obra no carregamento ou descarregamento de material. Os benefícios podem variar de operação para operação, mas em alguns casos, um turno de trabalho com um transportador telescópico pode realizar a mesma quantidade de carregamento ou descarregamento, que três turnos de trabalho com um sistema tradicional. Isto deve-se ao facto de estes transportadores possuírem a capacidade de extensão, permitindo que os materiais sejam carregados com mais facilidade. Assim, ao contrário dos transportadores estacionários, os transportadores telescópicos podem ser continuamente reconfigurados para ajustar às necessidades de transporte.

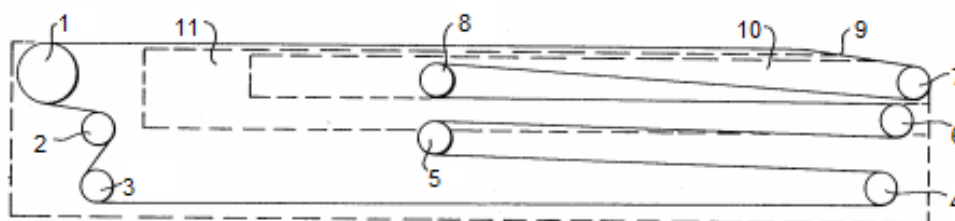


Figura 5.11. Transportador telescópico com dois segmentos extensíveis [44]

O transportador telescópico exemplificado na figura 5.11, apresenta um corpo básico suportado a uma altura ajustável, onde se encontra a polia motora (1) que acciona o transportador, a qual se apresenta com uma forma geometricamente abaulada, e por segmentos telescópicos extensíveis (10,11) que são apoiados no corpo de base. O corpo da base e os segmentos telescópicos são providenciados com polias de desvio e esticadores, onde a correia transportadora é conduzida e centrada aquando a extensão ou contracção das plataformas.

Cada segmento possui certas polias ao longo do seu comprimento, que são espaçadas mecanicamente entre si, de modo que esse espaçamento seja maior do que a extensão máxima que o segmento da correia possa atingir. À medida que as polias (6,7) recuam, as polias (5,8) terão o mesmo efeito, mantendo a distância entre eixos iguais, compensado assim as diferenças de alongamento resultantes do deslocamento das polias (6,7). No corpo da base para além da polia motora, é também utilizado duas polias, uma servindo como polia de abraçamento e outra como uma polia de desvio, aumentando assim o ângulo de abraçamento da polia motora. A polia (4) trabalha como esticador de correia, sendo responsável pela manutenção das forças de tracção do transportador, devendo ser ajustada horizontalmente consoante as necessidades de transporte. Com este conjunto de polias, a correia permanece tracionada adequadamente, independentemente da posição do segmento mais distante da base.

6. Enquadramento na teoria axiomática

Para comprovar teoricamente a validade das soluções, o projecto de dispositivos de centragem de um transportador é analisado focando o seu enquadramento na teoria axiomática. Neste enquadramento na teoria axiomática estuda-se apenas o projecto relativamente ao axioma de independência, devido à falta de informação necessária para um enquadramento no axioma de informação.

Devido à enorme complexidade na centragem da correia em sistemas de transporte, analisa-se um tapete transportador simples (Fig.6.1), onde o desenvolvimento do projecto foca-se apenas nos níveis superiores na interligação entre o domínio funcional e físico.

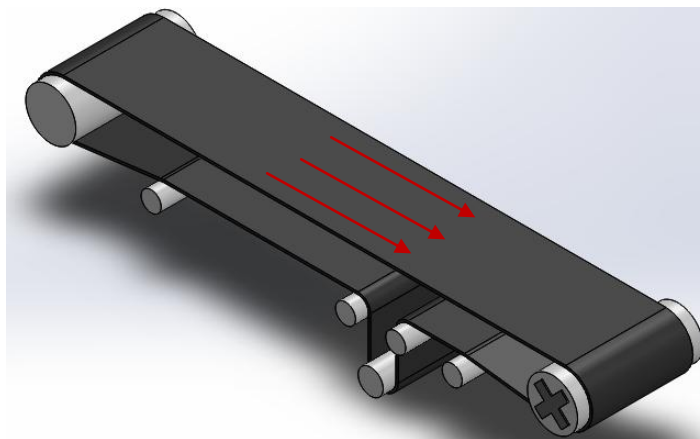


Figura 6.1. Tapete transportador de correia plana

No projecto em questão, o objectivo a ser garantido corresponde em manter a correia centrada no seu perfeito funcionamento sendo essa a necessidade do cliente e, para tal há que garantir os requisitos e condições necessárias para que o objectivo seja cumprido. O domínio do cliente engloba o objectivo do projecto a ser cumprido, o domínio funcional, os requisitos funcionais que garantem o objectivo do projecto e, o domínio físico contém os parâmetros que regulam as características do projecto.

Requisitos funcionais [RF]

- Garantir a transmissão de potência [RF_1];
- Fornecer a estabilidade adequada à correia [RF_2]

Para garantir estes dois requisitos fundamentais no funcionamento do transporte por correia plana, definiram-se os parâmetros de projecto responsáveis pelos mesmos.

Existem três parâmetros de projecto que implicam o requerimento funcional RF_1 que está relacionado com a transmissão de potência e que são :

- O ângulo de abraçamento [$PP_{1,1}$]
- As forças de tracção na correia [$PP_{1,2}$]
- O coeficiente de atrito entre a correia e a polia [$PP_{1,3}$]

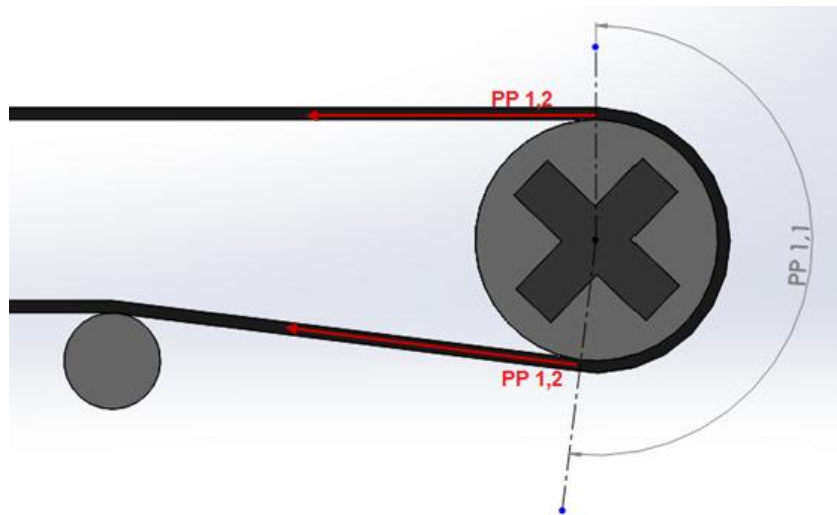


Figura 6.2. Ângulo de abraçamento e forças de tracção

O ângulo de abraçamento [$PP_{1,1}$] e as forças de tracção na correia [$PP_{1,2}$] têm um papel importante na transmissão de potência [RF_1]. O ângulo de abraçamento influencia directamente a capacidade de transmissão da correia e está interligado com as forças de tracção na correia, dado que quanto maior o ângulo de abraçamento maior será a diferença que se consegue obter entre as forças de tracção no ramo tenso e no ramo frouxo da correia, aumentando assim a potência que é possível transmitir. Por outro lado, as forças de tracção são as forças responsáveis pelo funcionamento de uma transmissão de correia plana. Quando as forças de tracção não são correctamente ajustadas, ocorre o escorregamento diminuindo assim o rendimento da transmissão de potência.

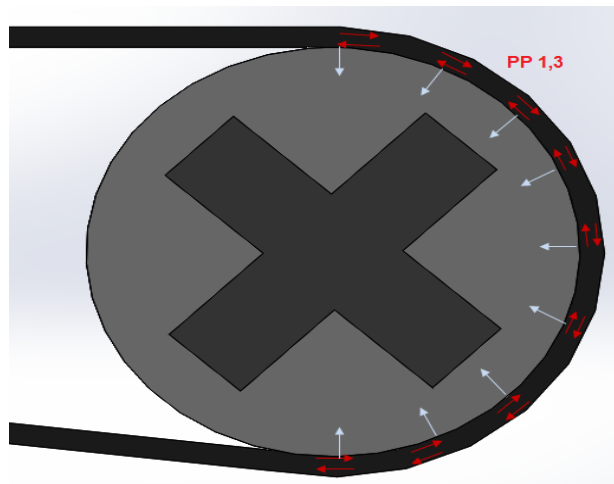


Figura 6.3. Coeficiente de atrito existente entre a correia e a polia

Como já referido no capítulo 2, as transmissões por correia plana operam através do atrito, e como tal, o coeficiente de atrito [$PP_{1,3}$] existente entre a polia e a correia tem um papel importante na transmissão de potência, exercendo assim a pressão de contacto necessária entre a correia e a polia para a transmissão de movimento e consequentemente a transmissão

de potência. Tal como o ângulo de abraçamento, o coeficiente de atrito entre a polia e a correia influencia directamente a diferença entre as forças de tracção no ramo tenso e no ramo frouxo, como a equação 2.10 o demonstra.

Apesar de estes parâmetros de projecto garantirem a transmissão de potência no transportador, estes não fornecem qualquer estabilidade à correia na sua largura. A estabilidade na condução da correia está relacionada com o posicionamento das polias e respectiva geometria.

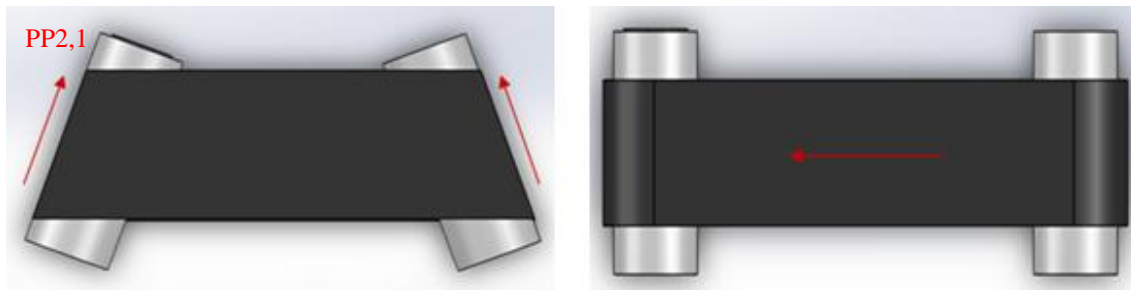


Figura 6.4. Paralelismo dos eixos

Como demonstra a Figura 6.4, quando ambas as polias se encontram com um certo deslocamento angular, e não paralelas entre si, a correia vai movimentar-se para o lado que se encontra com menor tensão levando ao descentramento da mesma. O deslocamento angular, porém, é um dos mecanismos de centragem da correia capaz de exercer uma força de centragem à correia, o que não acontece quando a correia é conduzida por polias cilíndricas colocadas paralelamente entre si. Posto isto, o paralelismo dos eixos $[PP_{2,1}]$ é importante para garantir estabilidade à correia.

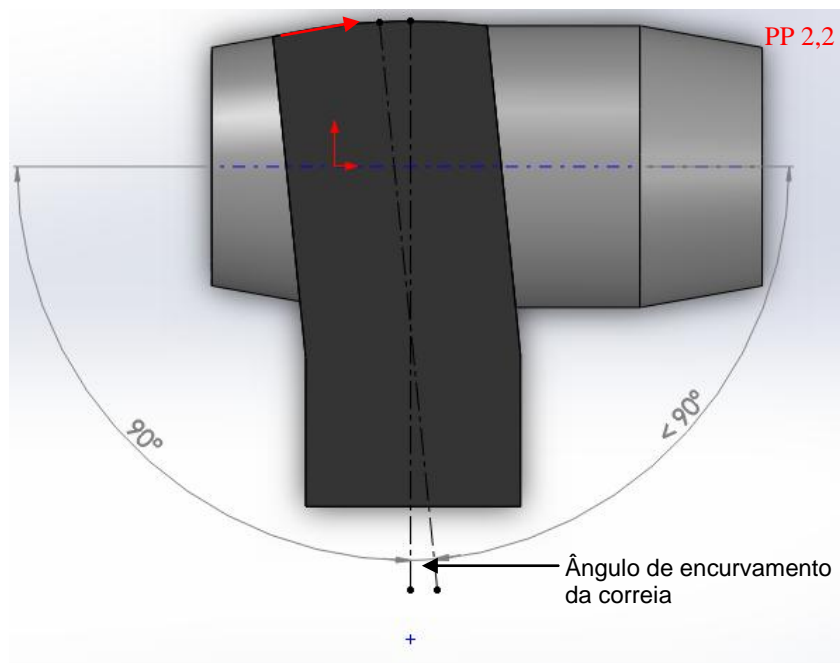


Figura 6.5. Geometria da polia (Abaulamento) e ângulo de encurvamento da correia

Devido ao motivo das polias cilíndricas com os seus eixos paralelos não produzirem a força de centragem à correia, a geometria das polias $[PP_{2,2}]$ desempenha um papel importante na estabilidade da correia pois é capaz de exercer uma força autocentrante com ambas as polias paralelas. A forma abaulada em que são apresentadas (Fig. 6.5), onde o seu diâmetro maior se encontra no centro, é capaz de deslocar correia de volta ao seu centro quando esta se encontra nas extremidades da polia devido ao esticamento que a correia está sujeita quando está situada na extremidade. Este esticamento da correia leva à sua deformação e consequente encurvamento e faz com que esta procure a sua posição de equilíbrio, onde está sujeita a menos deformação, e é quando a correia se encontra abraçada no centro da polia abaulada, trabalhando assim em linha recta. Se a correia estiver ainda mais esticada também haverá mais tensão sobre o diâmetro maior da polia, mas como ela tem a sua própria elasticidade, vai-se movimentar automaticamente para a superfície da polia que lhe é mais conveniente para o seu funcionamento.

Como se mostra na figura 6.5, a correia quando conduzida por uma polia abaulada, vai apresentar um certo ângulo de encurvamento segundo o eixo de direcção vertical da correia. Nas polias abauladas a correia vai-se movimentar para o lado da polia que apresenta o ângulo de valor menor que 90° , que neste caso é o ângulo entre o eixo perpendicular à superfície cónica da polia e o eixo de rotação da polia, enquanto no caso das polias cilíndricas deslocadas angularmente, o ângulo de valor menor que 90° é o ângulo entre o eixo vertical da correia e o eixo de rotação da polia.

A interligação dos requisitos funcionais e os parâmetros de projecto é realizada através da equação 2.13, resultando na equação 6.1 :

$$\begin{Bmatrix} RF_1 \\ RF_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} PP_{1,1} \\ PP_{1,2} \\ PP_{1,3} \\ PP_{2,1} \\ PP_{2,2} \end{Bmatrix} \quad (6.1)$$

Pela equação 6.1 e, dado que os parâmetros de projecto estão em maior número que os requisitos funcionais, pode-se concluir que o projecto é redundante, mas como existe apenas um elemento não-nulo por coluna, pelo corolário do teorema R2 [16], o projecto corresponde a um projecto redundante desacoplado.

Pelo axioma da independência, verifica-se a independência dos requisitos funcionais, o que é bastante favorável. Dado que estes parâmetros de projecto são usados desde há muito tempo, era esperado que o projecto resultasse num projecto desacoplado ou desacoplável, e neste caso resultou num projecto redundante desacoplado, devido ao maior número de parâmetros de projecto em relação aos requisitos funcionais. Caso o resultado da validade das soluções originasse um projecto acoplado, o uso destes parâmetros não seriam capazes de satisfazer os requisitos funcionais e não seriam usados simultaneamente na indústria dos transportadores de correia plana.

7. Conclusões e trabalho futuro

O trabalho desenvolvido nesta dissertação centrou-se essencialmente no estudo dos sistemas de centragem de correia plana em actividades de transporte e nos transportadores planos de correia plana.

Para tal, o estudo iniciou-se com a recolha de informações e conhecimentos existentes sobre as transmissões por correia plana e princípios de funcionamento das mesmas, bem como os sistemas já existentes para centragem de correias planas. Seguidamente, enquadraram-se as transmissões por correia plana na actividade de transporte onde foram estudados os principais componentes de um transportador de correia plana e os mecanismos e dispositivos mais usados na centragem das correias planas. Devido ao elevado número de transportadores existentes na indústria foram estudados os diferentes tipos de transportadores de correia plana e os sistemas adequados a cada um.

Foram indicadas, também, as causas responsáveis pelo descentramento da correia e as soluções mais adequadas. Cada problema de descentramento é originado por determinadas causas que, podem ser verificadas pela forma como a correia se comporta em certas zonas dos transportadores. Neste caso, existe um grande contributo deste trabalho para a indústria de transporte por correia plana devido às inúmeras causas listadas e as suas respectivas soluções.

Devido ao uso de sistemas de centragem há algum tempo na indústria de transporte, enquadrou-se o projecto de centragem de correia plana na teoria axiomática para verificar a sua validade. O estudo deste projecto na teoria axiomática foi conclusivo, dado que a matriz de projecto gerada foi uma matriz redundante desacoplada, o que significa que estes sistemas de centragem de correias planas estão de acordo com a teoria axiomática.

Com este trabalho, são fornecidas as bases teóricas para projectos de transportadores de correia plana, que constitui uma mais-valia para projecticas deste tipo de equipamentos. Por outro lado, a identificação das causas dos problemas de descentramento e as sugestões para a resolução dos mesmos é de grande utilidade para os técnicos de manutenção e conservação de transportadores de correia plana, particularmente nos aspectos relacionados com os dispositivos de centragem de correia plana.

Como sugestão para uma perspectiva de trabalho futuro, seria interessante efectuar um estudo pormenorizado de cada sistema de centragem de correia plana, estudando e analisando os seus princípios construtivos. Com os princípios de funcionamento de correia plana e dispositivos de centragem referidos neste trabalho, seria interessante, também, estudar um sistema de centragem mais eficiente, eventualmente, recorrendo a novas tecnologias de localização, como por exemplo, visão artificial ou outras, em substituição dos actuais sensores de posição, ou ainda, estudar um sistema mais eficiente, dado que todos os sistemas de centragem existentes não são 100 % eficazes possuindo as suas respectivas desvantagens.

8. Referências bibliográficas

- [1] Shigley, J.E, "Mechanical Engineering Design", 8ª edição, pp 859-877, McGraw-Hill, 2001
- [2] Martinho, A., "Órgãos de Máquinas I", pp 112-120, Universidade Nova de Lisboa, 2012
- [3] De Marco, F., "Elementos de Máquinas II", Universidade Federal de Rio de Janeiro
- [4] Collins, J. A., "Mechanical Design of machine elements and machines - a failure prevention perspective", pp 701-707, Wiley, 2003
- [5] Niemann, G., "Elementos de Máquinas", Vol. III, pp 86-105, Editora Edgard Blucher LTDA, 1971
- [6] Spotts, M. F., "Design of Machine Elements", 3ª edição, pp 218-239, Prentice-Hall Inc., 1985
- [7] Juvinall, R.C., Marshek, K. M., "Fundamentals of machine component design, 3ª edição, John Wiley & sons, inc.
- [8] Rothbart, H. A., "Mechanical Design and systems handbook", 2ª edição, McGraw-Hill
- [9] Egger, M., Hoffmann, K., "Lateral Running of flat belts: the angled conical pulley", International Conference for Mechanism and Machine Science, Besancon, France, 2007.
- [10] Egger, M., Hoffmann, K., "Tracking of flat belts by skewing pulley axis", International Conference for Mechanism and Machine Science, Guanajuato, México, 2011
- [11] Egger, M., Hoffmann, K., "Tracking of flat belts", Journal of Mechanics Engineering and Automation, vol. 2, 2012
- [12] Hoffmann, K., "Measurements and simulation of guiding effects with flat belt conveyors", XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik, Croatia, 2003
- [13] Pietra, L., Timponi, F., "Tension in a flat belt transmission: Experimental investigation", Mechanism and Machine Theory, 2013
- [14] Santos, A., Gonçalves-Coelho, A.M., Silva, A., "The Minimum Constraint Design and the First Axiom", The fifth international conference on axiomatic design, Campus de Caparica, 2009
- [15] Suh, N.P, "The principles of design", New York, Oxford University Press, 1990
- [16] Gonçalves-Coelho, A.M., Nestian, G., Cavique, M., Mourão, J., "Tackling with Redundant Designs through Axiomatic Design", Int. J. of Precision Engineering and Manufacturing, 13(10):1837-1843, 2012
- [17] Belt conveyors for bulk materials, prepared by the Engineering Conference of the Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA), 6ª edição

- [18] Omni Metalcraft corp, "Belt conveyor straight, curve and inclined", belt technical handbook, 2012. Consultado em 12 de Fevereiro de 2014
- [19] Habasit, "Fabric Conveyor Belt Engineering Guide". Consultado em 12 de Fevereiro de 2014
- [20] Habasit, "Power Transmissions Belts Engineering Guide". Consultado em 12 de Fevereiro de 2014
- [21] Ammeraal Beltech, "Process and conveyor belting, tracking and tensioning", 2007. Consultado em 15 de Fevereiro de 2014
- [22] Siegling Transilon conveyor and processing belts, "Recommendations for machine design", Forbo Movement Systems. Consultado em 15 de Fevereiro de 2014
- [23] Fábrica de aço paulista Ltda, "Manual de transportadores de correias". Consultado em 20 de Fevereiro de 2014
- [24] Keystone Manufacturing Inc., "Flat wire conveyor belt technical manual". Consultado em 20 de Fevereiro de 2014
- [25] Rexnord, "The Cost Effective Choice For Light To Heavy Duty Application". Consultado em 21 de Fevereiro de 2014
- [26] Rulmeca, "Project and Design Criteria for belt conveyors". Consultado em 5 de Março de 2014
- [27] Transnorm, catálogo geral. Consultado em 5 de Março de 2014
- [28] Fenner Dunlop, "Belt Tracking". Consultado em 20 de Março de 2014
- [29] Flexco, "Belt conveyor products". Consultado em 25 de Março de 2014
- [30] IMIC, "Transportadores de correia, Manual de Instruções de Equipamentos". Consultado em 4 de Abril de 2014
- [31] Sanvik, "Conveyor Components". Consultado em 5 de Abril de 2014
- [32] Besser, "Conveyor Belt Basic Rules and Procedures for Tracking and Training". Consultado em 5 de Abril de 2014
- [33] Selby, M., Kinder&Co, "Bulk Materials Handling Solutions", Belt tracking. Consultado em 23 de Abril de 2014
- [34] Caljan Rite-Hite, powered curve conveyors. Consultado em 23 de Abril de 2014
- [35] OCON, Owens conveyor company. Consultado em 23 de Abril de 2014
- [36] Central Conveyors Ltd, Bespoke conveyors and conveyors systems. Consultado em 24 de Abril de 2014
- [37] WEPCO, Conveyor basics. Consultado em 11 de Junho de 2014

- [38] Nordic Bulk, Solutions for Material Handling. Consultado em 15 de Junho de 2014
- [39] Sitio na internet, http://www.usmra.com/repository/PHOTOS/takeup_pulley/. Página consultada em 17 de Junho de 2014
- [40] Todd Swinderman, R., Marti, A. D., Goldbeck, L. J., Marshall, D., “FOUNDATIONS™, “The Pratical Resource for cleaner, Safer, More Productuve Dust & Material Control”, Martin Engineering Company, 4ª edição. Consultado em 28 de Junho de 2014
- [41] ASGO, Complete conveyor solutions. Consultado em 28 de Junho de 2014
- [42] RoyChowdhury, S. K., Maiti, B., Chakraborty, G., Design of Machine Elements 1 (Web), Version 2 ME , IIT Kharagpur. Consultado em 5 de Julho de 2014
- [43] Ivan Muchalov, R. R., Inventor, “Curved conveyor section”. United States patent US 6105755, Aug. 22, 2000. Consultado em 17 de Julho de 2014
- [44] Kaj B. Calundan, Inventor, “Telescopic belt conveyor”, United States patent US 4643299, Feb. 17,1984. Consultado em 17 de Julho de 2014
- [45] Sitio na Internet, <http://www.ctlinterlube.com/CTL%20english/king%20picture.htm>. Página consultada em 5 de Agosto de 2014